

# SC

UNEP/POPS/POPRC.2/17/Add.1

الأمم  
المتحدة

Distr.: General  
21 November 2006

Arabic  
Original: English

## برنامج الأمم المتحدة للبيئة



اتفاقية استكهولم بشأن الملوثات العضوية الثابتة  
لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة  
الاجتماع الثاني  
جنيف ٦ - ١٠ تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠٠٦

تقرير لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة عن أعمال اجتماعها الثاني

إضافة

موجز بيانات مخاطر إثير خماسي البروم ثنائي الفينيل التجاري

اعتمدت لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة في اجتماعها الثاني موجز بيانات مخاطر لجنة استعراض بشأن الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل التجاري على أساس المشروع الوارد في الوثيقة UNEP/POPS/POPRC/2/7. ويرد أدناه نص بيان المخاطر على النحو المعدل. ولم يتم تحريره رسمياً.

# الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل التجاري

موجز بيانات مخاطر

اعتمده لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة  
في اجتماعها الثاني

تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠٠٦

## المحتويات

|    |  |    |
|----|--|----|
| ٤  | موجز تنفيذي  | ٤  |
| ٦  | ١ - مقدمة  | ٦  |
| ٦  | ١-١ الهوية الكيميائية للمادة المقترحة  | ٦  |
| ٦  | ٢-١ استنتاج لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة فيما يتعلق بمعلومات المرفق دال           | ٦  |
| ٦  | ٣-١ مصادر المعلومات  | ٦  |
| ٧  | ٤-١ وضع المادة الكيميائية بالنسبة للاتفاقيات الدولية الأخرى                                | ٧  |
| ٧  | ١-٤-١ اتفاقية حماية البيئة البحرية لشمال شرق الأطلنطي                                      | ٧  |
| ٧  | ٢-٤-١ اتفاقية لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية لأوروبا بشأن تلوث الهواء بعيد المدى عبر الحدود | ٧  |
| ٧  | ٣-٤-١ اتفاقية روتردام  | ٧  |
| ٨  | ٤-٤-١ المنتديات الدولية الأخرى الوثيقة الصلة   | ٨  |
| ٨  | ٢ - معلومات موجزة تتعلق بموجز بيانات المخاطر   | ٨  |
| ٨  | ١-٢ المصادر  | ٨  |
| ٨  | ١-١-٢ الإنتاج والاستخدام   | ٨  |
| ١٢ | ٢-١-٢ مستقبل الطلب العالمي على مثبطات اللهب المبرومة                                       | ١٢ |
| ١٣ | ٣-١-٢ الإطلاقات في البيئة أثناء الإنتاج  | ١٣ |
| ١٤ | ٤-١-٢ الإطلاقات إلى البيئة خلال استخدام المنتج   | ١٤ |
| ١٥ | ٥-١-٢ الانبعاثات من نفايات محتوية على الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل                    | ١٥ |
| ١٨ | ٢-٢ المآل البيئي   | ١٨ |
| ١٨ | ١-٢-٢ الثبات   | ١٨ |
| ١٩ | ٢-٢-٢ التراكم الأحيائي   | ١٩ |
| ٢٤ | ٣-٢-٢ الانتقال البيئي بعيد المدى   | ٢٤ |
| ٢٩ | ٣-٢ التعرض   | ٢٩ |
| ٢٩ | ١-٣-٢ المستويات  | ٢٩ |
| ٣١ | ٢-٣-٢ الاتجاهات  | ٣١ |
| ٣٤ | ٣-٣-٢ التوافر الأحيائي   | ٣٤ |
| ٣٥ | ٤-٣-٢ التعرض البشري  | ٣٥ |
| ٣٨ | ٥-٣-٢ إزالة البرومة  | ٣٨ |
| ٣٩ | ٤-٢ تقييم المخاطر لنهايات سلسلة التفاعل المثيرة للقلق                                      | ٣٩ |
| ٣٩ | ١-٤-٢ السمية البيئية   | ٣٩ |
| ٤٠ | ٢-٤-٢ التأثيرات في الثدييات  | ٤٠ |
| ٤٣ | ٣-٤-٢ السمية في البشر  | ٤٣ |
| ٤٤ | ٣ - تجميع المعلومات  | ٤٤ |
| ٤٤ | ١-٣ موجز   | ٤٤ |
| ٤٤ | ٤ - بيان ختامي   | ٤٤ |
| ٤٥ | المراجع  | ٤٥ |

## موجز تنفيذي

تم التعرف على طائفة واسعة من الدراسات بشأن إثير خماسي برومو ثنائي الفينيل، وتلخيص نتائجها في موجز بيانات المخاطر هذا. وتدعم النتائج الجديدة الواردة في هذا التقرير الخلاصة التي توصلت إليه لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة في عام ٢٠٠٥ ومفادها أن خصائص إثير خماسي البروم ثنائي الفينيل تطابق معايير الفرز الواردة في المرفق دال لاتفاقية استكهولم.

ويشير إثير خماسي البروم ثنائي الفينيل التجاري (C-PentaBDE) إلى المزائج من متجانسات إثير البروم ثنائي الفينيل ومكوناتها الرئيسية هي ٢، ١٢ - رباعي البروم ثنائي الفينيل (BDE-47 CAS No. 40088-47-9) و ٢، ١٢، ٤، ٤، ٤، ٥ خماسي البروم ثنائي الفينيل (BDE-99 CAS No. 32534-81-9)، اللذين لهما أعلى تركيز من حيث الوزن بالنسبة لمكونات أخرى للمزيج.

وتستخدم المزائج التجارية من إثير خماسي البروم ثنائي الفينيل (C-PentaBDE) في أغراض تأخير اللهب كمضافات في المنتجات الاستهلاكية. وتحتوي هذه المزائج التجارية على متجانسات إثير ثنائي الفينيل المبروم مع ثلاث إلى سبعة برومينات في كل جزئ، غير أن الجزئيات التي تحتوي على عدد يتراوح بين ٤ و ٥ برومينات هي السائدة. وتفاوت نسبة متجانس الإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل في إثير خماسي البروم ثنائي الفينيل في أقاليم العالم المختلفة.

ويطلق إثير خماسي البروم ثنائي الفينيل في البيئة أثناء تصنيع هذا المنتج التجاري، وأثناء تصنيع هذا المنتج المحتوية على إثير خماسي البروم ثنائي الفينيل، وأثناء استخدامها وبعد أن يتم التخلص منها كنفائات وعلى الرغم من أن إنتاج إثير خماسي البروم ثنائي الفينيل، أو التخلص التدريجي منه في أنحاء العالم، تظل عدة نواتج محتوية عليه تستخدم لعدة سنوات قادمة، مما ينتج عنه استمرار إطلاقه في البيئة. وتصبح النواتج في نهاية دورة حياتها نفائات ذات قدرة على عمل إطلاقات إضافية.

ويتمثل المصدر الرئيسي في كل من أمريكا الشمالية وأوروبا الغربية في الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل الموجود في رغاوي البولي يوريثان المستخدمة في الأثاث المحلية والشعبية. وقد تم التخلص حالياً من هذا الاستخدام بالكامل تقريباً. وتعتبر المعلومات التي يعتد بها للخروج باستنتاجات بشأن أهمية الاستخدامات الأخرى مثل صناعة المنسوجات والمنتجات الإلكترونية والكهربائية ومواد البناء والمركبات والقطارات والطائرات والتغليف وسوائل التنقيب عن البترول ومنتجات الكاوتشوك محدودة جداً. وبينما تم تغطية بعض من الأمثلة التمثيلية، إلا أنه لا يزال هناك نقص في المعلومات الخاصة بالاستخدام بالنسبة لكثير من المناطق في العالم.

ومعظم الإطلاقات في الهواء هي انبعاثات من النواتج أثناء الاستخدام عن طريق بخر إثير خماسي البروم ثنائي الفينيل، وإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل الذي تحمله الأتربة. ويمكن لهذه الانبعاثات أن تحدث نتيجة لأنشطة إعادة التدوير والتفكيك مثل تفكيك المركبات ومواد البناء وأعمال التشييد ويمكن للانبعاثات أن تحدث من النفائات الإلكترونية لمصانع إعادة التدوير ومصانع التقطيع. ويمكن أن تتولد النواتج محتملة السمية مثل ثنائي البترو - ب - ديوكسين والفورانات أثناء الترميد للأشياء التي تحتوي على إثير خماسي البروم ثنائي الفينيل التجاري.

وتكون إطلاقات إثير خماسي البروم ثنائي الفينيل في الهواء والماء والتربة، غير أن الجزء الأكبر ينتهي به المطاف إلى التربة. والتوزع بين الأقسام البيئية هو >>> التربة > الهواء. وتدل دراسات عديدة تستخدم أجزاء داخلية من الرسوبيات على أن إثير خماسي البروم ثنائي الفينيل عالي الثبات جداً في الرسوبيات البحرية التي ما فتأت تحدث بعد مرور ٣٠ عاماً. وبصورة عامة، يكون هذا الإثير في البيئة مرتبطاً بالجسيمات ولا ينتقل إلا مقدار ضئيل في المرحلة الغازية أو يختلط بالماء، إلا أن مثل هذا الانتقال على فترات طويلة يمكن أن يكون فعالاً في توزيع الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل في البيئة على نطاق واسع وبخاصة في المناطق القطبية. وقد دلت دراسات تتبعية عديدة أجريت على الهواء والحيوانات على وجوده في البيئة القطبية.

ونظراً للقدرة العالية للمادة على الثبات في الهواء، لذا فإن المسار الرئيسي للانتقال بعيد المدى للإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - شأنه شأن الكثير من المواد التي تتسم بقدر كاف من التطاير، والثبات والتراكم الأحيائي - يكون عبر الهواء. وتشير دراسات النمذجة والدراسات البيئية إلى أن الانتقال يكون من خلال سلسلة من عمليات التحلل/التطاير تنطلق نحو القطبين، ولكن من المسلم به أن الانتقال في شكل جسيمات هام أيضاً، خاصة بالنسبة للمتنجاسات الأقل تطايراً. كما أن الانتقال بعيد المدى خلال الماء والحيوانات المهاجرة محتمل أيضاً.

وقد أظهر العديد من الدراسات أن الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل متوافر أحياناً في التربة والرسوبيات ويدخل بالتالي إلى السلسلة الغذائية، وأنه يتراكم ويتضخم أحياناً في الشبكات الغذائية حيث يصل إلى مستويات عالية في الضواري الراقية. وينتشر الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل بصورة كبيرة في البيئة العالمية. وقد وجدت مستويات من الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل التجاري في البشر في جميع أقاليم الأمم المتحدة. وتبين معظم التحليلات الخاصة بالاتجاهات أن هناك زيادة سريعة في تراكيز الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل في البيئة وفي البشر منذ أوائل سبعينات القرن الماضي حتى أواسط أو أواخر تسعيناته، وبلغت مستويات من الاستقرار النسبي في بعض المناطق في أواخر التسعينات، بيد أنها لا تزال تزداد في مناطق أخرى. ولا تزال المستويات في أمريكا الشمالية ومنطقة القطب الشمالي آخذة في التزايد. وقد تأثرت النظم الإيكولوجية والأنواع المهددة ومن بين هذه الأنواع العديد المعرض لخطر الانقراض. وقد بينت بعض فرادى الأنواع المعرضة لخطر الانقراض مستويات عالية بالدرجة التي تدعو إلى القلق. وبينت الدراسات المتعلقة بالسمية حدوث أضرار سمية تلحق بالتناسل والنمو العصبي وتأثيرات على هرمونات الغدة الدرقية في الكائنات المائية وفي الثدييات.

ويكون التعرض المحتمل بالنسبة للبشر من خلال الغذاء ومن خلال استخدام المنتجات والتعرض للهواء والغبار في الأماكن المغلقة. وينتقل الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل من الأمهات إلى الأجنة وإلى الأطفال الرضع. ويرى تقييم مخاطر كندي أن المخاطر الأعلى تحدث للأنواع العالية في السلسلة الغذائية. وهناك نقص في المعلومات الخاصة بالآثار على البشر من جراء التعرض قصير المدى وطويل المدى، على الرغم من أنه يتوقع أن تكون المجموعات المعرضة للخطر من بين النساء الحوامل والأجنة والأطفال الصغار. وتوجد مستويات أعلى إلى حد كبير في البشر من أمريكا الشمالية بصفة عامة. وقد وجد أن نحو ٥ في المائة من عموم السكان يتعرضون لتعرض عال. ويؤدي هذا، إلى جانب تقديرات نصف العمر الطويل لمتجانسات للإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل، إلى إثارة القلق بالنسبة للتأثيرات في المدى الطويل على صحة الإنسان.

واستناداً إلى المعلومات الواردة في موجز بيانات المخاطر، فإن الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل نظراً لخصائص مكوناته يسبب على الأرجح، نتيجة للانتقال البيئي بعيد المدى والسمية التي يسببها لعدد من الأنواع غير البشرية، آثاراً ضارة ملحوظة على الصحة البشرية أو على البيئة، وهو ما يستلزم اتخاذ إجراء عالمي حياله.

## ١ - مقدمة

اتفاقية استكهولم هي معاهدة عالمية لحماية الصحة البشرية والبيئة من الملوثات العضوية الثابتة والتي يوجد أكثر من عشر منها مدرجة في الاتفاقية في الوقت الراهن. والملوثات العضوية الثابتة عبارة عن مواد كيميائية تظل على حالتها في البيئة لفترات طويلة وتنتشر جغرافياً على مدى واسع وتتراكم في الكائنات الحية ويمكن أن تسبب ضرراً للبشر وللبيئة. وقدمت النرويج، والتي هي طرف في اتفاقية استكهولم مقترحاً في كانون الثاني/يناير ٢٠٠٥ بإدراج الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل في المرفق الأول لاتفاقية استكهولم ووافقت لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة على أن المنتج التجاري "إثير خماسي البروم ثنائي الفينيل" (PentaBDE) - وهي في الواقع مزيج كما سيتم تبيانه بعد - يفي بمعايير الفرز الواردة بالمرفق دال من الاتفاقية.

## ١-١ الهوية الكيميائية للمادة المقترحة

يشير إثير خماسي البروم ثنائي الفينيل التجاري (C-PentaBDE) إلى مزائج متجانسات (congeners) إثير البروم ثنائي الفينيل الذي تكون مكوناته الرئيسية هي ٢، ٢، ٤، ٤، ٤ - إثير رباعي البروم ثنائي الفينيل (BDE-47 CAS No. 40088-47-9)، و ٢، ٢، ٤، ٤، ٥ - إثير خماسي البروم ثنائي الفينيل (BDE-99 CAS No. 32534-81-9)، التي تقسم بأعلى التركيزات من حيث الوزن مقابل المكونات الأخرى للمزيج.

ونظام التقييم لـ PBDEs هو نفس النظام المستخدم في خماسي الكلور ثنائي الفينيل (PCBs) (Ballschmitter *et al.* 1993). والاختصار PBDE للمصطلح العام إثير متعدد البروم ثنائي الفينيل يغطي جميع المتجانسات الخاصة بعائلة الإثيرات ثنائية الفينيل المبرومة. وفي بعض الأوقات يختصر إلى BDE.

## ١-٢ استنتاج لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة فيما يتعلق بمعلومات المرفق دال

قامت اللجنة بتقييم معلومات المرفق دال في اجتماعها الأول في جنيف في تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠٠٥ (UNEP/POPS/POPRC.1/10) وخلصت إلى أن الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل التجاري يفي بمعايير الفرز (المقرر لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة - ٣/١).

## ١-٣ مصادر المعلومات

تم بلورة موجز بيانات المخاطر باستخدام معلومات المرفق هاء التي قدمتها البلدان والمنظمات غير الحكومية والتقارير الوطنية الموجودة على المواقع الشبكية لوكالات حماية البيئة في بلدان مختلفة ومن خلال الاتصال والعروض المقدمة من المؤسسات البيئية النرويجية ومن قطاع صناعة البروم وبرنامج الرصد والتقييم لمنطقة القطب الشمالي EMEP والبرنامج التعاوني لرصد وتقييم الانتقال بعيد المدى للملوثات الهوائية AMAP.

وقد قدم أحد عشر بلداً معلومات (أستراليا، البرازيل، كندا، اليابان، النرويج، المكسيك، بولندا، جمهورية لبنان، إسبانيا، سويسرا والولايات المتحدة الأمريكية). وقدمت سبعة بلدان معلومات عن الإنتاج والاستخدام. وقدم بلد واحد معلومات عن الإطلاقات؛ وأبلغ بلد آخر أنه ليس لديه بيانات عن الإطلاقات. وقد قدمت جميع البلدان فيما عدا بلد واحد بيانات رصد. ولا توجد أي معلومات عن المخزونات من البلدان التي قدمت معلومات في حين قدمت القلة معلومات عن

التجارة. وقد قدم مراقبان معلومات - الصندوق العالمي للطبيعية (WWF) والشبكة الدولية للقضاء على الملوثات العضوية الثابتة (IPEN).

#### ١-٤ وضع المادة الكيميائية بالنسبة للاتفاقيات الدولية الأخرى

##### ١-٤-١ اتفاقية حماية البيئة البحرية لشمال شرق الأطلنطي (OSPAR)

تقوم اتفاقية حماية البيئة البحرية لشمال شرق الأطلنطي بتوجيه التعاون الدولي بشأن حماية البيئة البحرية لشمال الأطلنطي. وقد وقعت اتفاقية حماية البيئة البحرية لشمال شرق الأطلنطي في باريس عام ١٩٩٢ ودخلت حيز النفاذ في ٢٥ آذار/مارس ١٩٩٨. وتتكون لجنة الاتفاقية من ممثلي حكومات ١٧ طرفاً من الأطراف المتعاقدة إضافة إلى المفوضية الأوروبية ممثلة للجماعة الأوروبية. وفي عام ١٩٩٨ وضعت لجنة الاتفاقية مركبات الإثير ثنائي الفينيل متعدد البروم على "قائمة المواد الكيميائية ذات الأولوية بالنسبة لاتخاذ إجراء بشأنها". وفي عام ٢٠٠١ استعرضت السويد وثيقة معلومات أساسية بشأن مركبات الإثير ثنائي الفينيل متعدد البروم للجنة اتفاقية حماية البيئة البحرية لشمال شرق الأطلنطي. ومن المقرر ألا يتم الاستعراض الكامل القادم لهذه الوثيقة قبل عام ٢٠٠٨. وفي المؤتمر الرابع لبحر الشمال تقرر التخلص التدريجي من استخدام مثبطات اللهب المبرومة بحلول عام ٢٠٢٠.

##### ١-٤-٢ اتفاقية لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية لأوروبا بشأن تلوث الهواء بعيد المدى عبر الحدود (UNECE)

تعمل لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية لأوروبا من أجل النمو الاقتصادي المستدام فيما بين بلدانها الأعضاء الـ ٥٥. وقد وقعت اتفاقية لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية لأوروبا بشأن تلوث الهواء بعيد المدى عبر الحدود من جانب ٣٤ حكومة والجماعة الأوروبية في عام ١٩٧٩ في جنيف. وطبقاً لهذه الاتفاقية تقوم الأطراف بالسعي نحو الحد من والخفض التدريجي ومنع تلوث الهواء، كلما أمكن، بما في ذلك تلوث الهواء بعيد المدى عبر الحدود وقد دخلت الاتفاقية حيز النفاذ في عام ١٩٨٣ وقد تم توسيع نطاقها من خلال ثمانية بروتوكولات محددة. ويوجد في الوقت الراهن ٥٠ بلداً أطرافاً في الاتفاقية. وقد تم اعتماد بروتوكول الملوثات العضوية الثابتة في ٢٤ حزيران/يونيه ١٩٩٨ في آرهوس (الدانمرك). ويركز هذا البروتوكول على قائمة من ١٦ مادة تم استهدافها، طبقاً لمعايير مخاطر متفق عليها، بالخطر الكامل أو إلغائها في مرحلة لاحقة أو تقييد استخدامها. وقد تم تعيين الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري كأحد الملوثات العضوية الثابتة الجديدة بالنسبة للاتفاقية في عام ٢٠٠٤ من جانب النرويج. وفي كانون الأول/ديسمبر ٢٠٠٥ نظرت الهيئة التنفيذية للاتفاقية فيما إذا كان الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري يفي بمعايير الفرز الخاصة بالملوثات العضوية الثابتة وهي المعايير التي حددها الهيئة التنفيذية للاتفاقية في مقررها ٢/١٩٩٨. وقد طالبت أن تواصل فرقة العمل المعنية بالملوثات العضوية الثابتة التابعة للجنة الأمم المتحدة الاقتصادية لأوروبا (UNECE) استعراض استراتيجيات الإدارة وبجنتها.

##### ١-٤-٣ اتفاقية روتردام

اتفاقية روتردام هي اتفاق بيئي متعدد الأطراف صمم للنهوض بالمسؤولية المشتركة والجهود المتلاحمة بين الأطراف بشأن مواد كيميائية معينة خطيرة متداولة في التجارة الدولية. وهي صك يتيح للأطراف المستوردة سلطة اتخاذ قرارات واعية بشأن ما هي المواد الكيميائية التي يريدون استقبالها واستبعاد تلك المواد التي لا يمكنهم إدارتها بصورة آمنة.

وقد تم اعتماد نص اتفاقية روتردام المتعلقة بتطبيق إجراء الموافقة المسبقة عن علم على مواد كيميائية ومبيدات آفات معينة خطيرة متداولة في التجارة الدولية في المؤتمر الدبلوماسي الذي عقد في روتردام في ١٠ أيلول/سبتمبر ١٩٩٨. ودخلت

الاتفاقية حيز النفاذ في ٢٤ شباط/فبراير ٢٠٠٤ وأصبحت ملزمة قانوناً للأطراف فيها. ويوجد في الوقت الراهن ١٠٢ دولة طرفاً في الاتفاقية. وقد أخطر الاتحاد الأوروبي اتفاقية روتردام بشأن الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل في عام ٢٠٠٣. ولكي تصبح المادة مرشحة للإجراء، فإنه ينبغي أن يتم الإخطار عن حظرها من جانب طرفين في الاتفاقية.

#### ١-٤-٤ المتنديات الدولية الأخرى الوثيقة الصلة

مجلس منطقة القطب الشمالي هو منتدى حكومي دولي رفيع المستوى يوفر آلية للتصدي للشواغل والتحديات المشتركة التي تواجه حكومات وشعوب منطقة القطب الشمالي. والدول الأعضاء في المجلس هي كندا والداغرك (بما في ذلك جزر جرينلاند وفارو) وفنلندا وأيسلندا والنرويج وروسيا والسويد والولايات المتحدة الأمريكية. وهناك ست منظمات دولية تمثل العديد من مجتمعات السكان الأصليين بالمناطق القطبية لها وضع مشارك دائم في مجلس منطقة القطب الشمالي.

وهناك الكثير من عمليات الرصد والتقييم للتلوث في منطقة القطب الشمالي التي تتم تحت رعاية مجلس منطقة القطب الشمالي (برنامج الرصد والتقييم لمنطقة القطب الشمالي). ويعتبر هذا العمل هاماً في تحديد مخاطر التلوث وتأثيرها على النظم الإيكولوجية في منطقة القطب الشمالي، وفي تقييم فعالية الاتفاقات الدولية بالنسبة لمكافحة التلوث مثل اتفاقية استكهولم للملوثات العضوية الثابتة. وقد أظهر برنامج الرصد والتقييم في منطقة القطب الشمالي (AMAP) أن الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل واحد من الملوثات الهامة في منطقة القطب الشمالي.

وفي خريف عام ٢٠٠٤، اعتمد مجلس منطقة القطب الشمالي مشروعاً جديداً لمنطقة القطب الشمالي يتعلق بخفض مثبطات اللهب المبرومة. وسوف تقوم النرويج بإدارة هذا المشروع.

#### ٢ - معلومات موجزة تتعلق بموجز بيانات المخاطر

##### ١-٢ المصادر

##### ١-١-٢ الإنتاج والاستخدام

استناداً إلى أحدث المعلومات بشأن إجمالي طلب السوق من الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل والمقدمة في منتدى علوم البروم والمنتدى البيئي (BSEF)، بلغ إجمالي الكميات المستخدمة التراكمية المقدرة من الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل منذ عام ١٩٧٠ نحو ١٠٠ ألف طن متري (طن). وقد تناقص إجمالي طلب السوق خلال السنوات الأخيرة من هذه الفترة، فمثلاً تناقص الطلب من ٨٥٠٠ طن في ١٩٩٩ إلى ٧٥٠٠ طن في عام ٢٠٠١ (BSEF, 2001).

الجدول ١-٢-١- التقديرات الخاصة بحجم الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري: إجمالي طلب السوق حسب الإقليم بالطن المتري (BSEF, 2001).

| الإجمالي | باقي العالم | آسيا | أوروبا | أمريكا |      |
|----------|-------------|------|--------|--------|------|
| ٨٥٠٠     | -           | -    | ٢١٠    | ٨٢٩٠   | ١٩٩٩ |
| ٧٥٠٠     | ١٠٠         | ١٥٠  | ١٥٠    | ٧١٠٠   | ٢٠٠١ |

وتحتاج أرقام الاستهلاك تلك إلى النظر إليها في سياق الطلب العالمي لمثبطات اللهب متعددة البروم من كافة الأنواع والتي تزيد من الطلب على الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري بصورة كبيرة. وعلى هذا، كان الإجمالي العالمي من

مركبات الإثير ثنائي الفينيل متعدد البروم ٣٢٥ ٢٠٤ طناً في (١٩٩٩) و ٧٤٠ ٢٠٣ طناً في (٢٠٠١) و ٧٢٧ ٢٣٧ طناً في (٢٠٠٢) و ٤٨٢ ٢٢٣ طناً في (٢٠٠٣) (BSEF 2006).

ويتم إنتاج الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري في كل من إسرائيل، واليابان والولايات المتحدة الأمريكية والاتحاد الأوروبي (Peltola et al. 2001 and van der Goon et al. 2005). ومنذ عام ٢٠٠١ تم اتخاذ إجراءات في العديد من البلدان لتنظيم الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري أو التخلص منه تدريجياً بصورة طوعية.

وقد توقف الإنتاج في الاتحاد الأوروبي (الدول الـ ١٥ الأعضاء) في الاتحاد الأوروبي السابق في ١٩٩٧ (EU 2000). وانخفض الاستخدام في الاتحاد الأوروبي (الدول الـ ١٥ الأعضاء) في النصف الثاني من تسعينات القرن الماضي وتقدر الكمية المستخدمة في ٢٠٠٠ بنحو ٣٠٠ طن متري (تستخدم فقط لإنتاج البولي يوريثان) (EU 2000). وحظر استخدام الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل في الاتحاد الأوروبي (٢٥ دولة عضواً) في ٢٠٠٤. وتم التوقف عن الاستخدام في الأجهزة الكهربائية والإلكترونية في ١ تموز/يوليه ٢٠٠٦.

وفي الولايات المتحدة الأمريكية أصدرت وكالة حماية البيئة الأمريكية في حزيران/يونيه ٢٠٠٦ قاعدة استعمال جديدة وهامة بشأن رابع - ثنائي إثير البروم ثنائي الفينيل وأي توليفات من هذه المواد الكيميائية ناتجة عن التفاعل الكيميائي، التي تتطلب من الأشخاص إخطار وكالة حماية البيئة قبل البدء في التصنيع أو الاستيراد لأجل أي استخدام. وسيتم حظره في ولاية كاليفورنيا اعتباراً من ٢٠٠٨. وقد توقفت الجهة الوحيدة المصنعة في الولايات المتحدة الأمريكية طوعياً عن الإنتاج بينما لا يزال الاستخدام مستمراً. وسيتوقف فقط عندما تنفذ المخزونات بالكامل. وعلى الرغم من الحصول على براءة بشأن إنتاج الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري في الصين مؤخراً في عام ١٩٩٩ بالنسبة لمزيج من الإثير ثنائي الفينيل متعدد البروم يختلف عن المزيج الخماسي التقليدي، فإنه يجري التخلص التدريجي من المادة في هذا البلد. ويقدر الإنتاج المتبقي في الصين بأقل من ١٠٠ طن متري/سنة وسيتوقف في ٢٠٠٧ عندما يفرض حظر على المادة في البلاد.

وقد أعلنت شركة منتجة كبيرة في إسرائيل هي الكيمائيات والمنتجات الصناعية في إسرائيل (مجموعة البحر الميت للبروم سابقاً) في بيان عام على موقعها الشبكي أن منتجاتها لا تحتوي على الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل. ويجعل هذا البيان المنتج متوافقاً مع الحظر المفروض لدى الاتحاد الأوروبي، أحد الأسواق الهامة لمثبطات اللهب التي تنتجها الشركة.

لا يوجد في الوقت الراهن إنتاج للمادة في اليابان. وقد تم طوعية سحب استخدام الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري من السوق اليابانية منذ ١٩٩٠ (Kajiwara et al. 2004). وتعتبر بعض البلدان النامية التي تحيط ببحر الصين الشرقي "نقاط ساخنة" محتملة لإطلاق الإثير خماسي الفينيل ثنائي الفينيل في البيئة البحرية (Ueno et al. 2004). ويتمركز العديد من المنتجين الصناعيين لأجهزة الكمبيوتر وأجهزة التلفزيون وغيرها من الأجهزة المنزلية الكهربائية في المناطق الساحلية للبلدان النامية الآسيوية (Ueno et al. 2004). وهناك مؤشرات عن التخلص تدريجياً من الإثير خماسي الفينيل ثنائي الفينيل في صناعة المنتجات الكهربائية والإلكترونية الجديدة في المنطقة الآسيوية على الرغم من وجود استخدامات فرعية للاستخدامات الرئيسية في رغاوي البولي يوريثان. ومدى هذه الاستخدامات غير مؤكد. يتم تصدير النفايات من المنتجات الكهربائية المستخدمة في البلدان المتقدمة إلى البلدان النامية الآسيوية مثل الصين والهند وباكستان ويتم إعادة تدوير هذه النفايات لاستخلاص المعادن القيمة (Ueno et al. 2004)، ويمكن أن يظل استمرار هذه التجارة مصدراً

لإطلاقات الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل. وحتى الآن لم يتم تطبيق أي قيود في البلدان النامية في منطقة آسيا والمحيط الهادئ والنصف الجنوبي من الكرة الأرضية.

إن انطلاق الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل "المُخزن في مصارف التخزين" أثناء إعادة تدوير منتجات الرغاوي يتم بالتوازي مع انطلاق مركبات الكربون الكلورية فلورية وغيرها من المواد المستنفدة للأوزون والتي تظل بالمثل كامنة في الرغاوي أثناء فترة العمر الفعالة لهذه الرغاوي.

وتشير النتائج المستقاة من استقصاء للصناعات الكندية بخصوص مواد معينة مدرجة بقائمة المواد المحلية للبلد تم إجراؤه لسنة ٢٠٠٠ إلى أنه لم يتم إنتاج إثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم في كندا، إلا أنه تم استيراد نحو ١٣٠٠ طن من الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري (لدجها ضمن أصناف مصنعة) (Environment Canada 2003). واستناداً إلى الكميات المبلغ عنها، كان الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري يمثل النصيب الأكبر في الكميات المستوردة من الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم، يليه المنتج التجاري الإثير عشاري البروم ثنائي الفينيل. كما تم استيراد كمية صغيرة جداً من الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل في عام ٢٠٠٠. ولا تشمل الكميات المبلغ عنها الكميات المستوردة في الأصناف المصنعة. وفي عام ٢٠٠٤، أقتراح إضافة الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل إلى قائمة التخلص الفعلية في كندا.

وفي الولايات المتحدة أوقفت الجهة المنتجة الوحيدة إنتاجها للإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل بصورة طوعية في عام ٢٠٠٤. وقد بلغ ما تم إنتاجه عالمياً من الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم في عام ٢٠٠١ وحده نحو ٧٠٠٠٠ طن متري، استخدم نصفها في منتجات يبعث في الولايات المتحدة الأمريكية وكندا. وقبل التخلص التدريجي الذي تم في الولايات المتحدة الأمريكية، كانت معظم تركيبات الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري المنتجة عالمياً تستخدم في أمريكا الشمالية (أكثر من ٩٧ في المائة). وفي نهاية عام ٢٠٠٤ كان ما يقرب من ٧,٥ في المائة مما مقداره أكثر من ٢,١ بليون رطل من رغاوي البولي يوريثان المرنة التي تنتج كل عام في الولايات المتحدة الأمريكية يحتوي على التركيبة التجارية للإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل (Washington State 2005).

وفي أستراليا، أفاد البرنامج الوطني للإخطار بشأن المواد الكيميائية الصناعية وتقييمها (NICNAS) في عام ٢٠٠٤ أن جميع المستوردين سيتخلصون تدريجياً من واردات الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل بحلول نهاية عام ٢٠٠٥ وقد تم إعادة التأكيد على ذلك من جانب المستوردين الرئيسيين في أواسط عام ٢٠٠٥.

ويستخدم الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري أو كان يستخدم في القطاعات التالية (Alaee et al. 2003, Danish EPA 1999, EU 2000, Prevedouros et al. 2004b, Swiss Agency for the Environment 2002, Birnbaum and Staskel, 2004):

- الأجهزة الكهربائية والإلكترونية - أجهزة الكمبيوتر، الأجهزة الإلكترونية المنزلية، المعدات المكتبية، الأجهزة المنزلية والأصناف الأخرى التي تحتوي على رقائق الدوائر الكهربائية المطبوعة وعلى أغلفة خارجية لدائنية وأجزاء لدائنية داخلية مثل الأجزاء الصغيرة المتحركة المزودة بمتماثر من البولي يوريثان الجاسئ في أغلفة المعدات.
- المرور والنقل - السيارات والقطارات والطائرات والسفن المحتوية على أجزاء داخلية من المنسوجات أو اللدائن وتحتوي أيضاً على أجزاء كهربائية.

- مواد البناء – مواد الحشو الرغوية، الألواح العازلة، العزل الرغوي، الأنايب، بائكات الحوائط والأرضيات، طبقات التصفيح اللدائنية، الراتنجات، إلى آخره.
- الأثاث – قطع الأثاث المنجدة، أغطية الأثاث، الحشيات، الأجزاء الرغوية المرنة.
- المنسوجات – الستائر، السجاد، الطبقات الرغوية بأسفل السجاد، الخيام، المشمعات، ملابس العمل والملابس الواقية.
- التغليف – مواد التغليف التي تعتمد في الأساس على رغاوي البولي يوريثان.

ويعتبر الاستخدام الأكثر شيوعاً للإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري منذ عام ١٩٩٩ ويبلغ نحو ٩٥-٩٨ في المائة، وكان في رغاوي البولي يوريثان (Hale et al. 2002). ويمكن أن تحتوي هذه الرغاوي على ما يتراوح بين ١٠ و ١٨ في المائة من التركيبة التجارية للإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري. وتستخدم رغاوي البولي يوريثان في الأساس في الأثاث والتنجيد في صناعة الأثاث المحلية وصناعة السيارات والطيران. ومن الاستخدامات الأخرى متماثرات البولي يوريثان الجاسي في الأغلفة الخارجية للمعدات وفي الراتنجات اللاصقة وراتنجات الطلاء في الأجهزة الكهربائية والإلكترونية وفي مواد البناء. ومنذ سنوات عدة أصبحت الإثيرات المحتوية على ذرات بروم أكثر (الإثير عشاري البروم ثنائي الفينيل) هي المفضلة في هذه الاستخدامات. كما يدخل الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري بكميات أقل في المنسوجات والطلاءات وورنيش اللك و سلع الكاوتشوك (السيور وطبقات الطلاء العازلة وألواح الأرضيات) وفي سوائل التنقيب عن البترول. وتتراوح المستويات في الوزن من ٥ - ٣٠ في المائة. وحتى أوائل تسعينات القرن الماضي كان الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري يستخدم في اللوحات الخاصة بالدوائر الكهربائية المطبوعة، عادة رقائق الـ FR2 (راتنجات الطلاء) في آسيا. وتستخدم رقائق الـ RF2 تلك في الأجهزة الإلكترونية المتولية (أجهزة التلفزيون والراديو والفيديو) والأجهزة الإلكترونية بالمركبات والسلع المعمرة ذات الطلاء الأبيض (الغسلات ومعدات المطبخ على سبيل المثال). وكانت الكمية المستخدمة من الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري في معالجة المنسوجات في أوائل تسعينات القرن الماضي تبلغ ٦٠ في المائة من إجمالي الكميات المستخدمة في الاتحاد الأوروبي، ولكن تم فرض حظر على هذا الاستخدام في الوقت الراهن.

وقد تم تحديد الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل التجاري كمادة مضافة مثبطة للهب في المنسوجات في تحليل وطني لتدفق المادة في إقليم شرق ووسط أوروبا (وكالة حماية البيئة الدانمركية، ١٩٩٩). وقد ذكر مصنعو منسوجات الأثاث أنه أبلغ في عام ٢٠٠٣ عن منسوجات تحتوي على ٠,٤٥ في المائة من الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل في تحليل تدفق نرويجي. وتطبق قواعد صارمة على القابلية للاشتعال على المنسوجات المستخدمة في القطاع العام وفي قطاع النقل وقطاع الأعمال التجارية بينما القواعد المطبقة على الاستخدامات المحلية أقل اتساقاً.

وطبقاً للمعلومات المستقاة من دوائر صناعة البروم، توقف استخدام الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل التجاري كسائل هيدروليكي (كجزء من مزيج) في عمليات الحفر والتنقيب عن البترول منذ ما يقرب من ١٠ - ٢٠ سنة.

وقد أبلغت أستراليا عن استخدامات في صناعة رغاوي البولي يوريثان للمبردات والتغليف وتركيبات الراتنجات اللاصقة الموردة لسوق الفضاء للاستخدام كمعاملات صقل ونظم ترقيق ونظم لاصقة. وأبلغت الولايات المتحدة الأمريكية عن استخدام الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري في صناعة الطائرات. ولا يوجد استخدام للإثير خماسي البروم ثنائي

الفينيل - التجاري في الطائرات الأحداث وبالتالي لا يوجد تعرض للجمهور ولكن الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل لا يزال يستخدم في الطائرات العسكرية.

## ٢-١-٢ مستقبل الطلب العالمي على مثبطات اللهب المبرومة

طبقاً لشركة استشارية لتحليل السوق، يتوقع أن ينمو الطلب العالمي لمثبطات اللهب بنسبة ٤,٤ في المائة في السنة ليصل إلى ٢,١ مليون طن متري في عام ٢٠٠٩ تقدر قيمتها بنحو ٤,٣ بليون دولار أمريكي. وسيخضع النمو بدرجة كبيرة إلى المكاسب في البلدان النامية في آسيا (الصين، على وجه الخصوص) وأمريكا اللاتينية وأوروبا الشرقية. ويتوقع حدوث زيادات كبيرة بالنسبة لمعظم مثبطات اللهب. وعالمياً، سيكون الطلب أكبر على مركبات البروم، ويرجع ذلك أساساً إلى النمو الضخم في الصين. وستنمو الاستخدامات الكهربائية والإلكترونية بصورة أسرع من الاستخدامات الأخرى. وستستمر المنتجات ذات القيمة الأعلى في عمل هجمات كبداية عن المركبات الأقل صداقة للبيئة خاصة في أوروبا الغربية وسيبدأ استبدال مركبات الكلور في الصين بمثبطات اللهب التي تعتمد على البروم والفوسفات وغيرها من مثبطات اللهب الأخرى (Fredonia Group 2005).

وبعد الانخفاض الكبير الذي شهده الطلب في عام ٢٠٠١، ستواصل الاستخدامات الكهربائية والإلكترونية استعادة الزيادة في الطلب. وسيكون النمو في الطلب على مثبطات اللهب في هذه الاستخدامات أكبر. وكلما أصبحت الدوائر الإلكترونية أصغر ونظراً لتعرض الإلكترونيات المتراصة بصورة أكثر كثافة لدرجات حرارة عالية جداً، لذا فإن الحاجة إلى مثبطات اللهب ستزداد. وستكون أسواق البناء هي الثانية من حيث سرعة النمو العالمي ولكن في الصين ستحتل السيارات المرتبة الثانية يليها المنسوجات وهما صناعتان تنموان بسرعة كبيرة في هذا البلد. وستستمر اللدائن في الدخول محل الخامات الأخرى مثل المعادن والزجاج في عدد كبير من المنتجات من أجل خفض كل من التكاليف والوزن وإتاحة الفرصة لمنتجات أحسن في التصميم وأكثر مرونة. وينتشر استخدام اللدائن إلى حد كبير وينمو في مجالات مثل النقل ومنتجات البناء والإلكترونيات. ويجب أن تكون اللدائن مثبطة للهب في كثير من الاستخدامات ونتيجة لذلك أصبح نحو ٧٥ في المائة من جميع مثبطات اللهب تستخدم في اللدائن (Fredonia Group 2005).

وتختلف القيود البيئية حسب الإقليم، ففي أوروبا الغربية واليابان وإلى مدى أقل في أمريكا الشمالية ستحدد هذه القيود بوجه خاص من نمو المركبات المكلورة. ولا يتوقع أن ينتشر حظر فرض في أوروبا الغربية على بعض مثبطات اللهب المبرومة انتشاراً كبيراً في مناطق أخرى، ولكنه سيقود عملية استنباط بدائل في الأجهزة الكهربائية والإلكترونية المطروحة للبيع في السوق العالمية. وقد أعلنت العشرات من الشركات الآسيوية والأوروبية والأمريكية في عام ٢٠٠٥ أنها طورت أو تقوم بتطوير أجهزة كهربائية وإلكترونية لا تحتوي على الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل. ففي آسيا قام نحو ٥١ في المائة من مصنعي الإلكترونيات بالفعل بإنتاج منتجات تلتزم بالحظر المفروض على الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل التجاري في الاتحاد الأوروبي ويتوقع أن يكون لدى ٤٢ في المائة منها منتجات تلتزم بهذا الحظر بحلول الأول من تموز/يوليه ٢٠٠٦. ويتوقع مسؤولون من شركات الإلكترونيات واستشاريون صناعيون أن صعوبة فصل مجاري المنتجات ستضمن أن تكون معظم الأجهزة الإلكترونية المطروحة للبيع في السوق العالمية في حالة امتثال بحلول عام ٢٠٠٥ (International Environment Reporter 2006).

## ٢-١-٣ الإطلاقات إلى البيئة أثناء الإنتاج

ينطلق الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل إلى البيئة أثناء عملية التصنيع وعند صناعة المنتجات وأثناء استخدام هذه المنتجات وبعد نبذها كنفايات. وإضافة إلى السعي نحو عملية صناعية لا ينجم عنها انبعاثات، من المهم أيضاً الأخذ في الاعتبار مساهمات الانبعاثات الناجمة عن المنتجات أثناء استخدامها وبعد نبذها. وينطلق معظم الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري كمصدر لتلوث واسع الانتشار أثناء وبعد فترة العمر الفعالة للمواد التي تحتوي على الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل وكمصدر لتلوث صغير من سلسلة إدارة النفايات للمنتجات النهائية.

ويتم تصنيع الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل عن طريق إضافة البروم الخام إلى الإثير ثنائي الفينيل في وجود مسحوق الحديد Friedel-Craft catalyst كعامل محفز. وقد أبلغ منتجو الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل أن المسارات الرئيسية للإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل أثناء هذه العملية تجاه البيئة عبارة عن نفايات متسربة ومواد منبوذة يجري التخلص من كليهما في مناطق ردم النفايات. ويمكن أن تحدث إطلاقات للإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل في المياه المستعملة الناجمة عن سوائف التنظيف المستهلكة (Peltola et al. 2001).

وطبقاً لتقييم المخاطر الذي أجراه الاتحاد الأوروبي للإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل، يفترض حدوث الانبعاثات عند إنتاج البولي يوريثان قبل عملية الإرغاء وعند مناولة المضافات (تصريفات إلى المياه) وأثناء المعالجة (انبعاثات نحو الهواء). ويمكن أن تحدث إطلاقات إلى الهواء أثناء مرحلة المعالجة لعملية إنتاج الرغاوي والتي تظل خلالها الرغاوي عند درجة حرارة مرتفعة لعدة ساعات طبقاً لحجم الإنتاج. وتقدر الانبعاثات إلى الهواء في هذه المرحلة بنحو ١ كغ/طن من الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل ولكن يمكن لبعض الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل المتطاير أن يتكثف في حجرة الإنتاج وينتهي إلى المياه المستعملة. وقد خلص تقييم مخاطر الاتحاد الأوروبي إلى أن نحو ٦. كغ من الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري تنطلق بهذه الطريقة أي خلال المياه المستعملة و٥. كغ نحو الهواء لكل طن من الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل المستخدم في إنتاج رغاوي البولي يوريثان.

الجدول ٢-٢ الإنتاج والاستخدام العالمي للإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري في إنتاج رغاوي البولي يوريثان وتقديرات الإطلاقات المرتبطة بذلك في عام ٢٠٠٠ (رغاوي تحتوي على ١٠ - ١٨ في المائة إثير خماسي البروم ثنائي الفينيل)

| انبعاثات الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل إلى الهواء أثناء عملية الإنتاج | الإطلاقات من الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل في المياه المستعملة | كمية الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل | الإنتاج من الرغاوي البولي يوريثان |
|---|--|--|-----------------------------------|
| ١٣ ٥٠٠ - ٧ ٥٠٠ كغ/سنة   | ١٦ ٢٠٠ - ٩٠٠٠ كغ/سنة   | ٢٧ ٠٠٠ - ١٥ ٠٠٠ طن/سنة                 | ١٥٠ ٠٠٠ طن/سنة                    |

ومن المصادر الهامة للإطلاقات تلك المرتبطة باستخدام مضافات مثبطات اللهب السائلة مثل الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل في إنتاج الرغاوي المتبلّمة. وينطلق قرابة ٠,٠١ في المائة من المادة الخام (١٠٠ غرام/لتر) التي يتم مناولتها أثناء عملية المزج إلى المياه المستعملة. كما أن هناك إمكانية لحدوث إطلاقات نتيجة للتطاير أثناء مرحلة المعالجة كما تم شرحه بأعلى نظراً لأن الرغاوي تظل في الحرارة تبلغ ١٦٠ درجة مئوية لساعات عديدة. وقد قام Wong et al (2001) بفحص

خصائص الفصل الجوي للإثيرات ثنائية الفينيل المبرومة ٤٧ و ٩٩ و ١٥٣ وتوقع أن تتحول المتجانسات رباعية وخماسية البروم إلى الحالة الغازية في درجات حرارة أعلى للهواء. لذا، فإنه على الرغم من أن قيم ضغط البخار المقاسة المنخفضة للإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل تشير إلى أن التطاير يكون أقل ما يمكن عند درجات الحرارة العالية للهواء، إلا أن هناك إمكانية لحدوث إطلاقات إلى الهواء عند درجات الحرارة المرتفعة التي تحدث خلال المعالجة (European Communities 2001). وتقدر دراسة (European Communities 2001) أن إجمالي الإطلاقات من الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل يصل إلى ١١,٠ في المائة يذهب نصفها إلى الهواء والنصف الآخر إلى المياه المستعملة.

#### ٢-١-٤ الإطلاقات في البيئة خلال استخدام المنتج

يستخدم الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري منفرداً كمادة مضافة في عمليات الخلط الفيزيائي مع البولر المضيف وبالتالي يمكن أن ينتقل داخل المصفوفة الصلبة والصورة المتطايرة من أسطح المواد خلال دورة حياتها (EU 2000). وينطلق ما يقدر بنحو ٣,٩ في المائة من الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل الموجود داخل المادة كل سنة من خلال التطاير أثناء فترة العمر الفعالة المفترضة بحوالي ١٠ سنوات في تقييم مخاطر الاتحاد الأوروبي ولكن سيكون لكل متجانس (congener) خصائص التنقل الخاصة به وكذلك معاملات التطاير. واستناداً إلى الكميات الموضحة في الجدول ٢-٢ ونسبة الفقد التي تبلغ ٣,٩ في المائة فإنه يمكن تقدير الكمية التي تدخل إلى البيئة من الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل بهذه الطريقة بنحو ٥٨٥ - ١٠٣٥ طناً كل عام.

أجرى Wong *et al.* (2003) تجارب غرفة محكمة مروراً فيها الهواء خلال عينات من منتجات الرغاوي المعالجة بالإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري تحتوي على ١٢ في المائة من الإثير ثنائي الفينيل متعدد البروم وزن غير جاف. وقد وجدوا أن إثيرات ثنائي الفينيل متعدد البروم تتطاير من رغاوي البولي يوريثان عند مستويات مقاسة. وقد انطلق من الغرفة متوسط إجمالي المستويات الإثير ثنائي الفينيل متعدد البروم قدره ٥٠٠ نانوغرام/م<sup>٣</sup>/غرام من الرغاوي. وبالنسبة لكل من الإثير ثنائي الفينيل متعدد البروم ٤٧- وثنائي الفينيل متعدد البروم ٩٩- وثنائي الفينيل متعدد البروم ١٠٠- (٤) ٥٥ و ٥ ذرات بروم على التوالي) كان معدل الفقد ٣٦٠ و ٨٥ و ٣٠ نانوغرام/م<sup>٣</sup>/غرام رغاوي، على التوالي. وقد كان متوسط الحرارة أثناء أخذ العينات يتراوح من ٣٠ - ٣٤ درجة مئوية.

ومع العلم بأنه تم اختبار التعرض للهواء داخل الأماكن المغلقة لغبار المنازل المحتوي على الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري عند استخدامه في أصناف محلية مثل الأثاث والأخشاب المصنعة والأجهزة وذلك في عدد من الدراسات (Shoeib *et al.* 2004, Wilford *et al.* 2005). وقد أبلغ باحثون أمريكيون (Stapleton *et al.* 2005) عن نتائج دراسة أجريت في ٢٠٠٤ في أحد مناطق واشنطن العاصمة وفي منزل في شارلستون بساوث كارولينا. وقد تراوحت تركيزات الإثيرات ثنائي الفينيل متعدد البروم في غبار المنازل في ستة عشر منزلاً بين ٧٨٠ نانوغرام/غرام وزن جاف إلى ٣٠ و ١٠٠ نانوغرام/غرام كتلة جافة. وكانت الأيزومرات السائدة هي تلك المرتبطة بالنوعين التجاريين الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل والإثير عشاري البروم ثنائي الفينيل. وقدر أن الأطفال الصغار (١-٤ سنة) يتلعون نحو ١٢٠ - ٦٠٠٠ نانوغرام/اليوم من الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم. وقد تم أيضاً تحليل القوائم الداخلية لمحففات الملابس في خمسة من هذه المنازل وقد أعطت تركيزات من الإثير ثنائي الفينيل متعدد البروم قدرها ٤٨٠ - ٣٠٨٠ نانوغرام/غرام وزن جاف. وقد بينت هذه الدراسات أن مستويات التعرض الملاحظة في الولايات المتحدة الأمريكية أكبر من نظيرتها في أوروبا وهي

حقيقة عزاه الباحثون إلى حقيقة أن غالبية أسواق الإثيرات ثنائية الفينيل - التجاري متعدد البروم تقع في الولايات المتحدة الأمريكية.

وتركز المعلومات في الفقرة التالية على حقيقة أنه على الرغم من أن الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل يمكنه التطاير من المنتجات الداخلة في تركيبها وكذلك أثناء دورة حياتها بالكامل وأثناء إعادة التدوير أي بعد نبذها، إلا أن المسار الرئيسي لانتشار هذه المادة الكيميائية في البيئة يكون في شكل جسيمات تمتص أو تمتز فيها المادة. وعند انبعاثها من المنتجات، فإن مشبطات اللهب غالباً ما تمتز في جسيمات قد تلتصق بالأسطح داخل الأجهزة أو على الأسطح الأخرى في البيئة المغلقة أو يمكن أن تنتشر إلى البيئة الخارجية عند تهوية الحجرات. وقد تعاني البيئات الصناعية حيث يتم تفكيك المعدات من تعرضات أكبر بكثير (Danish EPA 1999). كما توجد أيضاً إطلاقات من المنتجات نتيجة تعريضها للهواء وتآكلها وترسبها وتطايرها في نهاية عمرها الفعال أثناء عمليات التخلص منها أو إعادة تدويرها (التفكيك أو الطحن أو الخطوات الأخرى لمناولة النفايات كالتنقل والتخزين على سبيل المثال). وتقدر الإطلاقات السنوية في إقليم الاتحاد الأوروبي من دورة حياة المنتج بالنسبة لمنتجات البولي يوريثان حسب توزيعها على الأقسام البيئية المختلفة كالتالي: ٧٥ في المائة إلى التربة و ٠,١ في المائة إلى الهواء و ٢٤,٩ في المائة إلى المياه السطحية (EU 2000).

إن وجود الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري في المواد المستخدمة في طبقات الطلاء التحتية للسيارات وخامات التسقيف وطبقات طلاء اللغات وطلاء المنسوجات الثقيلة والكابلات والأسلاك والجوانب الخارجية ونعال الأحذية يمكن أن ينتج عنه إطلاقات بطيئة إلى البيئة. وقد تبين أن معاملات الانبعاث بالنسبة لهذه الإطلاقات في تقييم مخاطر الاتحاد الأوروبي تبلغ ٢ - ١٠ في المائة أثناء فترة عمر المنتج مع انطباق معاملات انبعاث أكبر على الاستخدامات المصحوبة بمعدلات تآكل عالية مثل طبقات الطلاء التحتية في السيارات ونعال الأحذية. ويفترض انبعاث ٢ في المائة أخرى أثناء عمليات التخلص. وبوضع هذه الحقائق في الاعتبار فإن معدلات الفقد في إقليم الاتحاد الأوروبي تقدر بنحو ١٥,٨٦ طن/سنة إلى التربة و ٥,٢٦ طن/سنة إلى المياه السطحية و ٠,٢١ طن/سنة إلى الهواء. ولا توجد قياسات فعلية في هذا السياق يمكن مقارنة هذه التقديرات بها.

وقد بين هال وآخرون في ٢٠٠٢ أن رغاوي البولي يوريثان المعالجة بمشبطات اللهب عند تعريضها لضوء الشمس المباشر تحت ظروف فصل الصيف النموذجية في فرجينيا حيث الحرارة تصل إلى ٣٠ - ٣٥ درجة مئوية ونسبة رطوبة ٨٠ في المائة فأكثر تصبح أكثر هشاشة وأثبتت المشاهدة تفككها خلال أربعة أسابيع. وقد افترض المؤلفون أن جسيمات الرغاوي الصغيرة ومنخفضة الكثافة ستكون سهلة الانتقال عن طريق مجاري مياه السيول وتيارات الهواء. ويمكن أن توفر عمليات التدهور تلك مساراً للتعرض إلى الكائنات الحية عن طريق الاستنشاق أو البلع لجسيمات الرغاوي والإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل المرتبط بهذه الجسيمات.

## ٢-١-٥ الانبعاثات من نفايات محتوية على الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل

يمكن توليد النفايات من إنتاج الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري ومن عمليات تصنيع المواد المحتوية على الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري ومن إدارة هذه المنتجات في نهاية عمرها الفعال.

عند الإنتاج، أفاد منتج الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري أن المصدر الرئيسي هو الإطلاقات من النفايات المترسبة والمواد المنبوذة، ولكن الكميات صغيرة بحيث لا يعتد بها. وعموماً يتم التخلص من النفايات في مناطق ردم

النفائيات (EU 2000)، وعلى الرغم من أنه تجدر الإشارة إلى أن النفائيات المحتوية على أكثر من ٠,٢٥ في المائة من الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل تصنف "كنفائيات خطيرة".

وبعد المعالجة والتبريد، يتم في العادة قطع كتل رغاوي البولي يوريثان حسب الحجم المطلوب وذلك على الرغم من أنه يتم إنتاج الرغاوي في بعض الاستخدامات في شكل قالب حسب الشكل المطلوب وبالتالي لا تكون هناك حاجة إلى التقطيع. وتفقد بعض من مثبطات اللهب في بقايا الرغاوي التي تتخلف عن عملية التقطيع. وغالباً ما يتم إعادة تدمير الرغاوي الخردة تلك وتحويلها إلى الطبقات التي تستخدم أسفل السجاد (ريبوندا) خاصة في الولايات المتحدة الأمريكية. وأنه لمن المشوق معرفة أن الاتحاد الأوروبي يصدر حوالي ٤٠.٠٠٠ طن/سنة من الرغاوي الخردة إلى الولايات المتحدة الأمريكية لهذا الاستخدام (EU 2000)، وفي استخدامات أخرى يتم طحن الرغاوي الخردة واستخدامها كحشو في عدد من الاستخدامات مثل مقاعد السيارات أو استخدامها لإضافتها إلى الكحول المتعدد الهيدريك الخام لإنتاج مكعبات الرغاوي ويمكن أيضاً التخلص من الرغاوي الخردة بدفنها في مناطق ردم النفائيات أو حتى بترميدها.

عند إنتاج لوحات الدارات الكهربائية المطبوعة يحدث قطع لجزء كبير من الرقائق ويتحول إلى نفائيات صلبة. لذلك لم يعد الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري يستخدم في هذا الاستخدام في معظم البلدان. وهناك معلومات محدودة عن النفائيات المتولدة في الاستخدامات الأخرى للإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري مثل استخدامه في الأجهزة الكهربائية والإلكترونية. وفي حين يجري إعادة تدوير بعض من هذه الأجهزة طبقاً لمحتوى المعدن فيها إلا أن الكثير منها يتم حرقه في محارق النفائيات البلدية وهذا في الغالب هو مآل الأجزاء غير المعدنية من مجاري النفائيات تلك. واعتباراً من كانون الأول/ديسمبر ٢٠٠٦ سيتم في الاتحاد الأوروبي فرض فصل اللدائن المحتوية على مثبطات لهب مبرومة عن مثل هذه النفائيات قبل الاستعادة وإعادة التدوير.

ويتم تخزين السيارات المستعملة التي غالباً ما تحتوي على أجزاء صلبة أو رغووية يدخلها الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري في الأماكن المفتوحة، ثم يتم بعد ذلك تفكيكها في مصانع التقطيع. وفي بعض البلدان يتطلب الأمر فرض قيود على معالجة الأجزاء المحتوية على مواد مثل الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل على أهما نفائيات خطيرة. ويتم التخلص من النفائيات المتولدة من إنتاج مواد البناء والمنسوجات والأثاث بدفنها في مناطق ردم طمر النفائيات أو بحرقها. ويعتبر هذا الأمر سهل بالنسبة للأجزاء الصغيرة سهلة الفصل ولكن معظم المواد المحتوية على مثبطات لهب يكون من الصعب عزلها وبالتالي تنتهي إلى نفائيات من مصانع التقطيع وغالباً ما يتم طمرها.

ويمكن أن تؤدي حركة جسيمات الرغاوي البوليمرية المحتوية على الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل داخل مناطق ردم النفائيات إلى توفير آلية لانتقال المواد المبرومة إلى المواد المرتشحة أو المياه الجوفية. ومن غير الممكن في الوقت الراهن تقييم حجم هذه العمليات. ومع ذلك وطبقاً للخواص الفيزيائية الكيميائية للمادة، فإنه من غير المرجح افتراض أن هناك كميات كبيرة من الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل يمكن أن تتسرب من مناطق ردم النفائيات نظراً لأن المادة ذات قابلية منخفضة للدوبان في الماء وتميز بارتفاع معامل فصل الأوكتانول عن الماء وتمتاز بقوة إلى التربة (EU 2000). وقد وجدت دراسات فرز نرويجية أن هناك مستويات تشير القلق من الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل موجودة في المواد المرتشحة من مناطق ردم النفائيات (Fjeld et al. 2003, Fjeld et al. 2004, Fjeld et al. 2005). وتقدر الكمية التي يتم التخلص منها من الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل سنوياً في الاتحاد الأوروبي وتذهب إلى مناطق ردم النفائيات أو المحارق بنحو ١٠٣٦ طن تقريباً (EU 2000).

وفي مشروع ألماني، قدرت انبعاثات الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل في منطقة البرنامج التعاوني لرصد وتقييم الانتقال البعيد المدى للملوثات الهواء ووزعت على المصادر كالتالي: ٠,٣٣ طن/سنة من الاحتراق والعلميات الصناعية، ٩,٤٥ طن/سنة من المذيبات واستخدام المنتج و٠,٠٥ طن/سنة من حرق النفايات (van der Gon وغيره ٢٠٠٥).

يتم في الغالب تدمير معظم مثبطات اللهب عند درجات الحرارة التشغيلية لمحارق ترميد النفايات البلدية، ولكنه واستناداً إلى الخبرة المكتسبة مع المركبات العضوية الأخرى، يمكن لبعض الكميات الزترة أن تعبر غرفة الاحتراق (Danish EPA 1999). وقد كشفت دراسات لمتلقي محارق النفايات الصلبة البلدية عن مستويات أعلى من المستويات الأساسية من الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل في الصورة الغازية والصلبة في الهواء في المنطقة المحيطة بالمحارق (Agrell et al. 2004, Law 2005, Schure وغيره ٢٠٠٤). ويمكن انطلاق المنتجات التي لديها إمكانية أن تكون سمية مثل ثنائي بترو - ب - الديوكسينات وثنائي بترو الفيورانان المبرومة أثناء حرق الأصناف المحتوية على الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري (Danish EPA 1999, Ebert and Bahadir 2003, Weber and Kuch 2003, Birnbaum and Staskel 2004) ويحتمل أن تنطلق إلى البيئة.

وتبين التحليل التي أجريت على لوحات الدارات الكهربائية FR2 المفككة في خردة أجهزة كهربائية، أن نحو ٣٥ في المائة من الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل متعدد البروم - التجاري المستخدم هو الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل، ولأغراض التقييم أفترض أن ٢٥ في المائة من رقائق FR2 في الأجهزة الأقدم قد تم معالجتها بمزيج تقني من الإثير الخماسي البروم ثنائي الفينيل (Swiss agency 2002). تستند تقديرات (Prevedouros et al. 2004) للإنتاج والاستهلاك والانبعاثات إلى الهواء من الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل في أوروبا في الفترة بين ١٩٧٠ و٢٠٠٠ إلى بيانات نظرية. وطبقاً لهذه الدراسة يتراوح معدل الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل الموجود بالأجهزة الكهربائية والإلكترونية المنبوذة في أوروبا بين ١٧ - ٦٠ طناً مترياً في السنة خلال الفترة ٢٠٠٠ - ٢٠٠٥. ومع ذلك، أظهرت دراسة تجريبية سويسرية لهذا المعدل في مصنع حديث لإعادة التدوير قيماً أكبر من تلك المتوقعة استناداً إلى الدراسة النظرية. ويمكن أن يعني ذلك أن الدراسات النظرية قد قدرت محتوى الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل متعدد البروم في هذه الأجهزة أقل من الواقع وتقر الدراسة بأن الشركات نادراً ما تقدم كل المعلومات اللازمة لعمل التقديرات الدقيقة (Swiss agency 2002). وقد أبلغت هذه الدراسة نفسها عن تحليل تدفق لدورة حياة الإثير خماسي وثمان وعشاري البروم ثنائي الفينيل إضافة إلى رباعي البروم ثنائي الفينيل ألف (TBBPA). وتعتبر الأجهزة الكهربائية والإلكترونية المستعملة هي المساهم الأكبر والذي يسبق مخلفات تقطيع أجزاء السيارات ونفايات البناء. وتحتوي اللدائن الموجودة في السيارات المنتجة في عام ١٩٨٠ نحو ٠,٠٨٩ كغ/كغ من الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل (مع استبعاد الكميات الموجودة في الأجزاء الكهربائية الإلكترونية)، في حين تحتوي اللدائن الموجودة في السيارات المنتجة في ١٩٩٨ على نحو ٠,٠٤٤ كغ/كغ. ومنذ بداية هذه الحقبة من الزمن غالباً ما يتم معالجة كل راتنجات البولي يوريثان غير المشبعة بمثبطات لهب مبرومة، أساساً الإثير عشاري البروم ثنائي الفينيل ورباعي البروم ثنائي البيسفينول ألف ولكنها تعالج أيضاً بالإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل. وحتى الكميات الأكبر والتي تصل إلى ٥٠ غرام من الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل لكل كغ من راتنج، تم استخدامها في عربات السكة الحديد المنتجة في عام ١٩٨٠.

ويقدر متوسط التركيزات من الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل في الأجهزة بنحو ٣٤ ميلليغرام/كغ مع أعلى تركيز - ١٢٥ ميلليغرام/كغ - في الأجزاء اللدائنية (Morf et al. 2005). وفي المصانع المزودة بمرشحات للغازات المنبعثة، يوجد

الجزء الأكبر من الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل في الأجزاء المتجمعة (Morf et al. 2005). ومن ناحية أخرى، ففي مصنع غير مزود بجهاز تحكم فعال في ملوثات الهواء مثل ذلك المصنع الحديث الذي تم دراسته فإنه يمكن انطلاق سيل كبير من الغبار الحامل للإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل إلى البيئة. وفي حالة تمس هذه النقطة قدمها Wang et al. (2005) اكتشف مستويات من الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل في التربة والرسوبيات متجمعة في جوار مصنع في منطقة مفتوحة للتخلص من النفايات الإلكترونية وإعادة تدويرها يقع في جي يو، جوان دونج بالصين.

وقد بينت الدراسة السويسرية أن ٥ في المائة من رغاوي البولي يوريثان المنتجة في ١٩٩٠ استخدمت في صناعة البناء وأنها احتوت على نحو ٢٢٠ غرام/كغ من الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري. وقد تم معالجة نحو ١٠ - ٢٠ في المائة من المشمعات اللدائية الحرارية المستخدمة في البناء بمشيطات لب مبرومة عند مستويات تتراوح من ١,٣ إلى ٥ في المائة من الوزن (Danish EPA). كما تم أيضاً معالجة بعض مشمعات كلوريد البولي فينيل بالإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري بمستويات تصل إلى ٤٩ غرام/كغ. ويمكن تصور انبعاث الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل أثناء أنشطة التفكيك ولكن لا توجد معلومات عن مدى هذه الانبعاثات.

## ٢-٢ المآل البيئي

### ١-٢-٢ الثبات

القيم المقدرة لفترة نصف العمر للإثير ثنائي الفينيل متعدد البروم في الأقسام البيئية المختلفة مستقاة من مصادر نظرية. وتم في الجدول ٢-٣ إيجاز تقديرات فترة نصف العمر المستقاة من هذه المصادر.

الجدول ٢-٣ فترات نصف العمر للإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل (BDE-99) في الأقسام البيئية المختلفة، قدرت باستخدام برنامج Syracus Corporation's EPIWIN program.

| القسم البيئي       | فترة نصف العمر المقدرة (يوم) | المرجع                      |
|--------------------|------------------------------|-----------------------------|
| التربة             | ١٥٠                          | Palm 2001, Palm et al. 2002 |
| الرسوبيات الهوائية | ٦٠٠                          | Palm 2001, Palm et al. 2002 |
| الماء              | ١٥٠                          | Palm 2001, Palm et al. 2002 |
| الهواء             | ١٩                           | Palm et al. 2002            |
|                    | ١١                           | Vulykh et al. 2004          |

ويلاحظ أنه ينبغي توخي الحذر عند الاعتماد على تقديرات فترة نصف العمر المستقاة من هذا البرنامج والذي يعرف حالياً باسم EPI Suite (<http://www.epa.gov/opptintr/exposure/docs/episuite.htm>). والاستخدام المزمع لبرنامج EPI Suite هو الفرز الكيميائي فقط، وقد لا يكون مناسباً في بحث المواد فيما يتعلق برقابته عالمياً. وبسبب أهمية هذه المسألة، سيتم على الأرجح إصدار بيانات عن فترة نصف العمر مستقاة من دراسات جديدة ولكن على الأرجح لا يبدو أن الصورة المقدمة من البيانات القائمة ستتغير بصورة كبيرة. كما أن الطبيعة المتدهورة لمنتجات الإثير ثنائي الفينيل متعدد البروم ستكون في الغالب أكثر وضوحاً في المستقبل مما يؤدي إلى النظر في سميتها.

وبالنسبة للتحلل الأحيائي، يتوقع أن تكون إثيرات رباعي وخماسي وسداسي البروم ثنائي الفينيل "صعبة المراس" بالنسبة لبرنامج BIOWIN. وباستخدام برنامج EPIWIN، فإن فترات نصف العمر المقدرة للإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل تصل إلى ٦٠٠ يوم في الرسوبيات الهوائية و ١٥٠ يوماً في التربة و ١٥٠ يوماً في الماء (Palm 2001). ودرجة الثبات تلك تؤيدها

حقيقة أنه لم يتلاحظ أي تدهور خلال ٢٩ يوماً (بزيادة ثاني أكسيد الكربون) في اختبار لتحلل الأحيائي لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي برقم 301B باستخدام الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل (Schaefer and Haberlein 1997).

قام Schaefer and Flaggs (2001) بإجراء دراسة تحلل لا هوائي لمدة ٣٢ أسبوعاً باستخدام مزيج من BDE-47 (إثير رباعي البروم ثنائي الفينيل) موسوم بالكربون المشع ١٤ وغير موسوم ومدمج بالرسوبيات. وقد أظهرت الدراسة أن أقل من ١ في المائة من إجمالي الإشعاع قد استعيدت في صورة  $^{14}\text{CO}_2$  و  $^{14}\text{CH}_4$  وهو ما يبين عدم حدوث أي تمعدن في الأساس. وعموماً وجدت الدراسة أن مستويات التحلل غير ذات دلالة استاتيكية؛ ومع ذلك أشارت طريقة HPLC التحليلية مع الكشف عن الإشعاع أن هناك بعض المنتجات تكونت في عينات دراسة الـ ٣٢ أسبوعاً. وقد تم تحديد ما بين واحد إلى ثلاثة من تلك القمم العظمى في ٢٦ من بين ٤٢ عينة تم تحليلها. والعمل جارٍ لتحديد هذه المنتجات. ومن المرجح أن BDE-47 لديه إمكانية التحلل ولكن بصورة بطيئة جداً تحت الظروف اللاهوائية.

وتبين دراسات عديدة استخدمت قلوب الرسوبيات أن منتجات الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل التي ترسبت في الرسوبيات البحرية الأوروبية في أوائل سبعينات القرن الماضي لا تزال موجودة بكميات كبيرة، وهو ما يشير إلى قدرة عالية على الثبات في الرسوبيات (Covaci et al. 2002a, Nylund et al. 1992, Zegers et al. 2000, Zegers et al. 2003). وقد بدأ الإنتاج والاستخدام الصناعيان في أوروبا في أوائل سبعينات القرن الماضي مع حدوث انخفاض في السنوات الأخيرة. ويبرز ذلك في أجناب قلوب الرسوبيات مع عدم حدوث ذلك قبل هذا التاريخ وزيادة في المستويات بعد هذا التاريخ وانخفاض في هذه المستويات في السنوات الأخيرة. وفي الدراسات الأحدث (Zegers et al. 2003)، تم دراسة قلوب الرسوبيات المأخوذة من النرويج وهولندا وألمانيا. وقد تراوحت تراكيز الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم بمعادلتها بالمحتوى الكلي من الكربون العضوي من ١٠ - ٢٠ ميكروغرام/غرام إجمالي كربون.

## ٢-٢-٢ التراكم الأحيائي

### ١-٢-٢-٢ دراسات بشأن التراكم الأحيائي والتضخم الأحيائي في الشبكات الغذائية المحلية

ركزت دراسات عديدة على إمكانية التراكم والتضخم الأحيائيين للإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل. وقد أظهرت الدراسات زيادة في التراكيز في الحيوانات والنباتات مع زيادة المستوى الغذائي في الشبكات الغذائية البحرية والقطبية. وتشير معاملات التركيز الأحيائي (BCFs) والتراكم الأحيائي (BAFs) والتضخم الأحيائي (BMFs) المحسوبة إلى أن الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل له إمكانية التراكم والتضخم الأحيائيين. وقد تم إدراج القيم المحسوبة في هذه الدراسات في الجدول ٢ - ٤. وقيمة معامل فصل الماء عن الأوكتانول ( $\log K_{ow}$ ) بالنسبة للإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل في هذه الدراسات ٦,٥ - ٧,٤. وهناك وصف للدراسات الأحدث في النص التالي.

الجدول ٢-٤ معاملات التراكم الأحيائي (BAFs)ح (المحسوبة بالنسبة لواحد من الإثيرات خماسية البروم ثنائية الفينيل -BDE) (99 في مادة مطبوعة من دراسات بيئية في الشبكات الغذائية البحرية والقطبية الشمالية. وقد تم حساب البيانات باستخدام متوسط تركيزات وزن المحتوى الدهني، فيما عدا الدراسة التي قام بها Sørmo et al. 2006، والتي تشير فيها القيم الموضوعية بين الأوقاس إلى معاملات التضخم الأحيائي والتي تم حسابها من متوسط التركيزات في وزن الجسم الكلي.

| المتغير                | الكائن الحي                           | المنطقة                | القيمة      | المرجع              |
|------------------------|---------------------------------------|------------------------|-------------|---------------------|
| معامل التراكم الأحيائي | بلح البحر متعدد الأشكال               | بحيرة مالارين، السويد  | ١,٨         | Lithner et al. 2003 |
| معامل التضخم           | بيض طائر الغلموت /الرنجة              | بحر البلطيق            | ١٧          | Sellström 1996      |
|                        | الفقمة الرمادية/الرنجة                | بحر البلطيق            | ٤,٣         | Sellström 1996      |
|                        | السلمون/الرنجة الصغيرة                | بحر البلطيق            | ١٠          | Burreau et al. 1999 |
|                        | السلمون/الرنجة الصغيرة                | بحر البلطيق            | ٥,٩         | Burreau et al. 2000 |
|                        | السلمون المحيط الأطلسي/الرنجة الصغيرة | البحر الأطلسي الشمالي  | ٣,٨         | Alaee et al. 2002   |
|                        | العوالق/كائنات الأعماق                | بحيرة أونتااريو، كندا  | ٧,١         | Alaee et al. 2002   |
|                        | كائنات الأعماق/الأسماك الكائنة        |                        |             |                     |
|                        | <i>T. libellula</i> /مجدافيات الأرجل  | بحيرة أونتااريو، كندا  | ٠,٨         | Sørmo et al. 2006   |
|                        | <i>G.wilkitzki</i> /مجدافيات الأرجل   | سفالبارد،              |             | Sørmo et al. 2006   |
|                        | الحوت القطبي/مجدافيات الأرجل          | القطب الشمالي بالنرويج | ٠,٦٥ (١,٣)  | Sørmo et al. 2006   |
|                        | الحوت القطبي                          | سفالبارد،              |             | Sørmo et al. 2006   |
|                        | <i>T. inermis</i>                     | القطب الشمالي بالنرويج | ٤٧,٦ (١٩,٠) | Sørmo et al. 2006   |
|                        | الحوت القطبي                          | سفالبارد،              |             | Sørmo et al. 2006   |
|                        | <i>T. libellula</i>                   | القطب الشمالي بالنرويج | ٢,١ (١,٦)   | Sørmo et al. 2006   |
|                        | الحوت القطبي                          | سفالبارد،              |             | Sørmo et al. 2006   |
|                        | <i>T. libellula</i>                   | القطب الشمالي بالنرويج | ١,٩ (١,٢)   | Sørmo et al. 2006   |
|                        | الحوت القطبي                          | سفالبارد،              |             | Sørmo et al. 2006   |
|                        | <i>G.wilkitzki</i>                    | القطب الشمالي بالنرويج | ٣,٤ (١,٣)   | Sørmo et al. 2006   |
|                        | الحوت القطبي                          | سفالبارد،              |             | Muir et al. 2006    |
|                        | <i>T. inermis</i>                     | القطب الشمالي بالنرويج | ٠,٠٤ (٠,١)  | Muir et al. 2006    |
|                        | الفقمة الحلقيه                        | سفالبارد،              |             | Muir et al. 2006    |
|                        | <i>T. libellula</i>                   | القطب الشمالي بالنرويج | ٢٦,٨ (٥٤,٥) | Muir et al. 2006    |
|                        | الفقمة الحلقيه                        | سفالبارد،              |             | Muir et al. 2006    |
|                        | <i>G.wilkitzki</i>                    | القطب الشمالي بالنرويج | ٤٣,١ (٦٠,٠) | Muir et al. 2006    |
|                        | الفقمة الحلقيه                        | سفالبارد،              |             | Muir et al. 2006    |
|                        | <i>G.wilkitzki</i>                    | القطب الشمالي بالنرويج | ٠,٦ (٣,٩)   | Muir et al. 2006    |
|                        | الفقمة الحلقيه/الحوت القطبي           | سفالبارد،              |             | Muir et al. 2006    |
|                        | الدب القطبي/الفقمة الحلقيه            | القطب الشمالي بالنرويج | ١٣,٧ (٥٦,٦) | Muir et al. 2006    |
|                        | الدب القطبي                           | سفالبارد،              |             | Muir et al. 2006    |
|                        | الفقمة الحلقيه                        | القطب الشمالي بالنرويج | ٠,٣ (٠,٢٩)  | Muir et al. 2006    |
|                        | الدب القطبي/الفقمة الحلقيه            | سفالبارد،              |             | Muir et al. 2006    |
|                        | الدب القطبي/الفقمة الحلقيه            | القطب الشمالي بالنرويج | ٣,٤         | Muir et al. 2006    |
|                        | الدب القطبي/الفقمة الحلقيه            | سفالبارد،              |             | Muir et al. 2006    |
|                        | الدب القطبي/الفقمة الحلقيه            | القطب الشمالي بالنرويج | ١١          | Muir et al. 2006    |
|                        | الدب القطبي/الفقمة الحلقيه            | القطب الشمالي بالنرويج | ٨,٠         | Muir et al. 2006    |
|                        | الدب القطبي/الفقمة الحلقيه            | القطب الشمالي بكندا    | ١,٠         | Muir et al. 2006    |
|                        | الدب القطبي/الفقمة الحلقيه            | القطب الشمالي بكندا    | ٥,٩         | Muir et al. 2006    |
|                        | الدب القطبي/الفقمة الحلقيه            | القطب الشمالي بكندا    |             | Muir et al. 2006    |
|                        | الدب القطبي/الفقمة الحلقيه            | جرينلاندا              |             | Muir et al. 2006    |
|                        | الدب القطبي/الفقمة الحلقيه            | سفالبارد،              |             | Muir et al. 2006    |
|                        | الدب القطبي/الفقمة الحلقيه            | القطب الشمالي بالنرويج |             | Muir et al. 2006    |

وقد تم إدراج تحاليل الإثير ثنائي الفينيل متعدد البروم في بلح البحر المخطط (بلح البحر متعدد الأشكال) في دراسة أكبر تم إجراؤها في مدينة استكهولم وما حولها بالسويد (Lithner وغيره ٢٠٠٣). وقد تم جمع بلح البحر المخطط من موقع أساسي وغرست في سلال ونقلت إلى مواقع أخرى في بحري بحيرة مالارين، وسالنتس جون وفي العديد من البحيرات الصغيرة. وتجري المياه العذبة من بحيرة مالارين عبر وسط مدينة استكهولم وإلى خارجها نحو المياه المالحة لبحر البلطيق عبر

سالت سجون. وقد تم تحديد خمسة متجانسات للإثير ثنائي الفينيل متعدد البروم (BDE-47, BDE-99, BDE-100, BDE-153 and BDE-154). وكان السائد في مجسم المتجانسات هما المتجانسان BDE-47 و BDE-99 (واللذان يحتويان على ٤ و ٥ ذرات بروم على التوالي) وكان المجسم ممثلاً للمنتج التقني لإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل. وقد تم تقدير معاملات التراكم الأحيائي للمركبات المختلفة التي خضعت للدراسة باستخدام بيانات خاصة بمواد الجسيمات عالقة (SPM) جمعت من مصائد لرسوبيات في عامي ١٩٩٨ و ١٩٩٩ في نفس المواقع عند ريدارف جاردن وسالتس جون (Broman وغيره ٢٠٠١). ومن المفترض أن تعكس التركيزات بمواد الجسيمات العالقة التركيزات الخاصة بالماء. وقد تم حساب معاملات التراكم الأحيائي باستخدام تركيزات وزن المحتوى الدهني في بلح البحر وتركيزات الكربون العضوي في الجسيمات العالقة.

وعمقارنتها بالمركبات الأخرى (المركبات ثنائية الفينيل متعدد الكلور) والـ دي. دي. تي وسداسي كلورو البترين) فإن معاملات التراكم الأحيائي للإثيرات الثنائية الفينيل المتعددة البروم هي الأعلى حيث تتراوح بين ١ إلى ٢. ومعامل التراكم الأحيائي (= المستوى في بلح البحر/المستوى في الجسيمات العالقة) ويبلغ بالنسبة للإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل ١,٨.

وتبين تركيزات الإثير ثنائي الفينيل متعدد البروم BDE-47 و BDE-99 في الشبكة الغذائية البحرية في بحيرة أونتاريو زيادة التركيزات مع زيادة المستوى الغذائي (Alaee et al. 2002). وفي هذه الدراسة تم تحديد تركيزات للإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم في عينات مسجلة من العوالق وبرغوث البحر والديوريا والرنجة والسلمون وسمك سكالين وسمك التروت المستخرج من البحيرة وكانت هذه العينات قد جمعت في ١٩٩٣. كما تم بحث الديناميكية الغذائية للإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم في الشبكة الغذائية البحرية لبحيرة أونتاريو. وتتكون الشبكة الغذائية البحرية لبحيرة أونتاريو من ثلاثة مستويات غذائية. سمك التروت الخاص بالبحيرة (*Salvelinus namaycush*) وهو نوع من الأسماك المتوحشة الموجودة ببحيرة أونتاريو حيث يتغذى على أسماك التغذية بما فيها الرنجة (*Alosa pseudoharengus*) والسلمون الملون (*Osmerus mordax*) وسمك سكالين الرقيق (*Cottus cognatus*)؛ وتتغذى هذه الأسماك بدورها على برغوث البحر والديوريا وهما يتغذيان على العوالق النباتية والعوالق الغذائية. والاستثناء الوحيد في هذا الاتجاه هو التضخم الأحيائي لـ BDE-99 من كائنات الأعماق إلى أسماك التغذية حيث له معامل تضخم أحيائي يبلغ ٠,٨. ويعتبر هذا مؤشراً لتحلل الـ BDE-99. وفي الحقيقة، تماثل بيانات الإثير ثنائي الفينيل متعدد البروم في العوالق وبرغوث البحر والديوريا تلك الخاصة بتركيبة الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل والتي تشير إلى أن الـ BDE-99 يتراكم أحياناً في اللاقاريات وتبدأ عملية الأيض بالنسبة له بواسطة الأسماك الكالئة (العاشبة).

وتتم مناقشة دراسات أخرى عن الأيض تتضمن عملية لإزالة البرومة اختزالياً في الفصل ٢-٣-٥.

أجرى Whittle et al. (2004) استقصاءات بشأن مستويات الإثير ثنائي الفينيل متعدد البروم في تجمعات الأسماك في بحيرتي أونتاريو وميتشجان في ٢٠٠١ و ٢٠٠٢ وتم تقييم التضخم الأحيائي في الشبكة الغذائية البحرية المحلية (العوالق/برغوث البحر/ديوريا أسماك التغذية - (السلمون/سكالين/الرنجة) - سمك التروت). وقد أظهر تحليلها والذي تضمن ما إجماله واحد وأربعون متجانساً من متجانسات الإثير ثنائي الفينيل متعدد البروم أن السائد من هذه المتجانسات في كل مستوى غذائي هو إثيرات BDE 47 و ٩٩ و ١٠٠. وقد تراوحت معاملات التضخم الأحيائي الممثلة لمجمل الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم بالنسبة لأسماك التغذية إلى سمك التروت من ٣,٧١ إلى ٢١,٠١ في بحيرة ميتشجان ومن ٣,٤٨ إلى ١٥,٣٥ في بحيرة أونتاريو. بينما بلغ معامل التضخم الأحيائي بالنسبة للعوالق إلى سمك الويف نحو ٢٢,٣٤ في بحيرة أونتاريو.

وقد أظهرت دراسة حديثة لسلسلة غذائية في القطب الشمالي (Sørmo et al. 2006) نتائج مماثلة لدراسة Alae. وقد تم بحث تركيزات الإثارات ثنائية الفينيل متعددة البروم في سلسلة غذائية بحرية في منطقة القطب الشمالي تتكون من أربعة أصناف من الضواري، الحوت القطبي (*Boreogadus saida*)، وأنواع الفقمه ذات الحلقات (*Pusa hispida*) والديبة القطبية (*Ursus maritimus*). وقد وجد أن إثارات PBDEs، BDE-47 و BDE-99 هي أكثر الإثارات ثنائية الفينيل متعددة البروم وفرة بتركيزات واضحة حتى في العوالق الحيوانية، وهي أقل مستوى غذائي تم فحصه في هذه الدراسة. وقد تضخمت معظم الإثارات ثنائية الفينيل متعددة البروم الخاضعة للبحث أحياناً كعلاقة طردية مع المستوى الغذائي في السلسلة الغذائية. وقد حدث استثناء ملحوظ عند أعلى مستوى غذائي، الدب القطبي، حيث وجد أن BDE-153 فقط هو الذي يزداد فيه عن فريسته الرئيسية، الفقمه ذات الحلقات، مما يبين أن الديبة القطبية قادرة على أيض معظم الإثارات ثنائية الفينيل متعددة البروم وتحليلها أحياناً. ويرى المؤلفون أن هذا التناقص في مآل الإثارات ثنائية الفينيل متعددة البروم فيما بين الأنواع المختلفة قد يكون مرجعه حدوث أنشطة لإزالة السموم مؤكسدة في الدب القطبي. وقد تكون معدلات الامتصاص وإزالة البرومة أكثر أهمية بالنسبة لمعدلات التراكم الأحيائي للإثارات ثنائية الفينيل متعددة البروم في العوالق الحيوانية، والحوت القطبي والفقمه ذات الحلقات. ولم يظهر الـ BDE-99 تضخماً أحياناً بدءاً من العوالق الحيوانية البحرية إلى الحوت القطبي ويرجع ذلك في الغالب إلى خضوع الإثارات ثنائية الفينيل المبرومة إلى عملية أيض في الأمعاء أو في أنسجة الأسماك. كما لم تظهر زيادة في التركيزات بين العوالق الحيوانية البحرية بدءاً من مجدافيات الأرجل *T. libellula*. وقد استخدمت تركيزات أساس الوزن الدهني (LWCs) وتركيزات الوزن الكلي للجسم (WBCs) للإثارات ثنائية الفينيل متعددة البروم لتقييم معاملات التضخم الأحيائي (BMFs). وتعطي تركيزات الوزن الكلي للجسم أكثر معاملات التضخم الأحيائي واقعية حيث أن المعاملات التي يتم حسابها عن طريق تركيزات الأساس الدهني تكون مشوشة بالتغير الكبير في المحتوى الدهني للأنسجة الخاصة بالأنواع الخاضعة للبحث. وتوضح هذه الدراسة أن الإثارات خماسية البروم ثنائية الفينيل قد وصلت إلى تركيزات مقاسة حتى في المستويات الغذائية الأدنى (اللافقاريات والأسماك) في منطقة القطب الشمالي وتضخمت أحياناً في السلسلة الغذائية للدب القطبي.

وقد تم تحديد الإثارات ثنائية الفينيل متعددة البروم في عينات من الأنسجة الدهنية في إناث الديبة القطبية الشمالية البالغة ودون البالغة تم تجميعها بين 1999 و 2002 من تجميعات فرعية في المنطقة القطبية الشمالية بكندا وشرق جرينلاند وسفالبارد وفي الذكور والإناث تم تجميعها من 1994 إلى 2002 في شمال آلاسكا (Muir et al. 2006). وقد تم تحديد أربعة متجانسات فقط بصورة ثابتة في جميع العينات (BDE-47, BDE-99, BDE-100, and BDE-153). وكان BDE-47 هو المتجانس الرئيسي حيث مثل من 65 إلى 82 في المائة من مجموع الإثارات الثنائية الفينيل متعددة البروم. ولم يكن العمر متغيراً واضحاً بالنسبة للإثارات ثنائية الفينيل متعددة البروم كل على حدة أو بالنسبة لمجموعها. وبصورة عامة وجدت النسب الأكبر من BDE-99، BDE-100 و BDE-153 في عينات من منطقة القطب الشمالي الكندية من النسب الموجودة في عينات من سفالبارد أو من منطقة بحر برينج - تساكشي في آلاسكا. وقد ظهر أن جميع المتجانسات الأربعة الرئيسية للإثارات ثنائي الفينيل متعدد البروم تتضخم بدءاً من الفقمه ذات الحلقات إلى الديبة القطبية. وقد كانت معاملات التضخم الأحيائي للديبة - الفقمه القطبية متوافقة نسبياً على الرغم من المسافات الضخمة بين المواقع. وكانت الاستثناءات هي معاملات التضخم الأحيائي لكل من BDE-99 و BDE-100 و BDE-153 في شرق جرينلاند حيث كانت هذه المعاملات هي الأقل بين جميع المواقع الأخرى. وقد يعني هذا ضمناً وجود اختلافات في تحول الإثارات ثنائية الفينيل متعددة البروم في الشبكة الغذائية البحرية التي تؤدي إلى اختلافات في الديبة القطبية أو في الشبكة الغذائية. وقد لوحظت اختلافات في

الأنواع بالنسبة للتراكم الأحيائي والتحول الأحيائي للإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم في الأسماك وقد يؤدي ذلك إلى اختلافات في مجسمات المتجانسات في الثدييات التي تتغذى على الأسماك وفي الضواري التي تتغذى على هذه الثدييات.

وقد جرت الدراسات الخاصة بالتضخم الأحيائي للإثيرات ثنائية الفينيل من ثلاثي إلى عشاري البروم في ثلاث سلاسل غذائية مختلفة، اثنتان في بحر البلطيق وواحدة في المحيط الأطلنطي (Law 2005). وقد تضخمت أحيائياً جميع المتجانسات من ثلاثي إلى سباعي البروم، ولكن أقصى تضخم أحيائي للإثيرات خماسية البروم ثنائية الفينيل.

وقام Matscheko *et al.* (2002) ببحث تراكم سبعة إثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم وثمانية مركبات ثنائية الفينيل متعددة الكلور وثنائي بتزو باراديوكسين متعدد الكلور وثنائي بتزو فيوران متعدد الكلور في دودة أرض جمعت من تربة سويدية في الربيع والخريف من عام ٢٠٠٠. وكانت المواقع المختارة لأخذ العينات عبارة عن أراضٍ زراعية تستقبل نواتج استخدامات فضلات الصرف الصحي وحقل غمرته مياه نهر معروف أنها تحتوي على المواد المستهدفة في رسوباتها. وكانت المواقع المرجعية عبارة عن تربة ريفية وحضرية لا تحتوي على مصادر معروفة للمواد المستهدفة غير المحتوى الأساسي. وقد تم تجميع دود الأرض ( *primarily Lumbricus terrestris, Lumbricus spp, Aporectodea caliginosa, A. rosea and Allolobophora chlorrotic* ) من جميع المواقع الميدانية وتم حجب التغذية عنها لمدة ٢٤ ساعة لاستكشاف محتوى الأمعاء بعد تحليله لبحث وجود المواد المستهدفة. وقد تم حساب معاملات تراكم التربة النباتية والحيوانية (BSAFs) على اعتبار أنها نسبة تركيز المواد المستهدفة في المحتوى الدهني للديدان إلى تركيز المواد المستهدفة في المادة العضوية للتربة. وقد تراوحت معاملات تراكم التربة النباتية والحيوانية BDE-47 و BDE-66 و BDE-99 و BDE-100 من ١ إلى ١٠. وقد كانت قيم هذه المعاملات مقاربة للقيم المحسوبة لمركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور ولكنها كانت أكبر من تلك الخاصة بثنائي بتزو باراديوكسين متعدد الكلور وثنائي بتزو فيوران متعدد الكلور. وقد تم تحديد قيم معاملات تراكم التربة النباتية والحيوانية أكبر من ١٠ في موقع زراعي حيث كانت هذه المعاملات المحسوبة ١١ و ١٨ و ٣٤ لكل من BDE-99 و BDE-47 و BDE-100 على التوالي. ولم تستخدم البيانات التي تم تجميعها لكل من BDE-153 و BDE-154 و BDE-183 نظراً لأن المستويات الخاصة بها في ديدان الأرض رؤى أنها عالية بدرجة غير مقبولة.

#### ٢-٢-٢-٢ رصد نتائج تشير إلى التراكم الأحيائي

يبين عدد كبير من الدراسات وجود تركيزات مثيرة للاهتمام في المفترسات الراقية. وعادة ما تكون المستويات العالية في المفترسات الراقية مؤشراً على إمكانية التراكم الأحيائي للمركب في السلسلة الغذائية للمفترسات الراقية.

وتشير دراسات عديدة (Jaspers *et al.* 2004, Herzke *et al.* 2005, Lindberg *et al.* 2004, D`Silva *et al.* 2004, Law *et al.* 2003, Sellström *et al.* 2003, Sinkkonen *et al.* 2004) إلى الانتشار الواسع للإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل في الطيور الجارحة الراقية في أوروبا مثل الشاهين (*Falco peregrine*) وصقر الجلم (*Falco columbarius*) وصقر الباشق (*Accipiter gentiles*) والنسر الذهبي (*Aquila chrysaetos*) والصقر الحوام (*Buteo buteo*). وقد تم اكتشاف مستويات عالية في بيض الجوارح الراقية مثل نسر البحر ذي الذيل الأبيض والشاهين والعقاب والنسر الذهبي (Herzke *et al.* 2005, Lindberg *et al.* 2004). كما تم اكتشاف مستويات عالية أيضاً في خنازير البحر في المرفأ الأوروبية (*Phocoena phocoena*) (Thron *et al.* 2002 and Covaci *et al.* 2004).

وقد تم اكتشاف الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري بمستويات عالية في منطقة القطب الشمالي في الطيور الجارحة الراقية والثدييات (Verrault *et al.* 2005, Verrault *et al.* 2004, Norström *et al.* 2002, Herzke *et al.* 2003, (Vorkamp *et al.* 2004a and b, Wolkers *et al.* 2004, Thron *et al.* 2004, Thomas *et al.* 2005, Ikononou *et al.* 2002) مثل النوارس الرمادية (*Larus hyperboreus*) والدببة القطبية (*Ursus maritimus*) والفقمة ذات الحلقات (*Phoca hispida*) والدلافين البيضاء (*Delphinapterus leucas*).

### ٣-٢-٢ الانتقال البيئي بعيد المدى

#### ١-٣-٢-٢ دراسات بيئية بشأن الانتقال والتوزيع

هناك عوامل عديدة تشير إلى الانتقال بعيد المدى عبر الحدود للإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل في البيئة. حيث أن لديه قدرة عالية على الثبات في الهواء مع فترة نصف عمر ١١ - ١٩ يوماً (Palm *et al.* 2002, Vulykh *et al.* 2004). وقد كشفت دراسات الرصد حدوث لانتشار واسع في الهواء الأوروبي (ter Shure *et al.* 2004, Lee *et al.* 2004, Jaward *et al.* 2004, Harrad and Hunter 2004, Harrad *et al.* 2004) and Arctic (AMAP 2002 and AMAP 2005, Peltola *et al.* 2001).

وقد تم أخذ عينات من الهواء في منطقة البحيرات العظمى بأمريكا الشمالية في ١٩٩٧ - ١٩٩٩ وتم إبلاغ نتائجها من جانب Strandberg *et al.* (2001). وقد تم اكتشاف الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم، BDE-47 و BDE-99 بصفة أساسية، في جميع العينات التي تم أخذها من أربعة مواقع، وكان هناك تغير طفيف خلال الفترة الزمنية. وتراوحت تراكيز الإثير ثنائي الفينيل متعدد البروم ٥ بيكوغرام/م<sup>٣</sup> بالقرب من بحيرة سويريور إلى ٥٢ بيكوغرام/م<sup>٣</sup> في شيكاغو. وعند درجة جمع العينات ٢٠ ± ٣ درجة مئوية كان ٨٠ في المائة من المتجانسات رباعية البروم في الصورة الغازية ولكن كانت ٧٠ في المائة من المتجانسات سداسية البروم مرتبطة بجسيمات.

وكانت النتائج الخاصة بأقصى شمال المحيط الهادئ تغطي مواد لجسيمات جمعت في تموز/يوليه - أيلول/سبتمبر ٢٠٠٣ من بحر بوهاي إلى عمق منطقة القطب الشمالي ٣٧ - ٨٠ درجة شمالاً (Xin-Ming Wang *et al.* 2005). وكانت المتجانسات السائدة BDE-47، BDE-66، BDE-99 و BDE-100 (كانت كلها موجودة في الشكل التجاري للمزيج الخماسي) و-BDE 209 بتركيزات تتغير من المتوسطة إلى العالية تنجت في الغالب (حسب رأي المؤلفين) من عمليات التخفيف والترسب والتحلل التي تحدث للإثيرات ثنائية الفينيل متعدد البروم أثناء الانتقال بعيد المدى. وكانت التركيزات الإجمالية للإثير ثنائي الفينيل متعدد البروم تقع في نطاق ٢،٢٥ - ١٩٨،٩ بيكوغرام/م<sup>٣</sup>. بمتوسط ٥٨،٣ بيكوغرام/م<sup>٣</sup>. ويعتقد أن مصدر الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم هو قارة أمريكا الشمالية حيث تنسل فيها إلى "فخ بارد" في منطقة القطب الشمالي.

وكان التركيز في أي تقييم لمدى تشتت الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل في البيئة ينصب على الانتقال بعيد المدى، لا سيما نحو مناطق القطب الشمالي، ولكن هناك أيضاً كمّاً متزايداً من البيانات عن انتشار المادة ومتجانساتها المرتبطة بها داخل هذه المناطق. وقد أظهرت عينات للهواء أخذت من جنوب بحيرة أونتاريو في ربيع عام ٢٠٠٠ قبل تفتح البراعم تركيزات للإثيرات ثنائي الفينيل متعدد البروم بلغت ٨٨ - ١٢٥٠ بيكوغرام/م<sup>٣</sup>، حيث كانت المتجانسات الأخف هي السائدة (DBE-17، -28 and -47) (Gouin *et al.* 2002). وقد هبطت التركيزات إلى ١٠ - ٢٠ بيكوغرام/م<sup>٣</sup>، وهو التغير الذي أرجعه الباحثون إلى، أولاً المستويات القوية الناتجة عن الزفير الخارج من كتل ثلج الشتاء، يتبعها إمكانية الامتزاز بواسطة أوراق الشجر المهاجرة. وقد وجدت دراسات أخرى في أونتاريو (Harner *et al.* 2002) مستويات في الهواء

لإجمالي الإثريات ثنائية الفينيل متعددة البروم تراوحت بين ٣,٤ - ٤٦ بيكوغرام/م<sup>٣</sup>. وفي عمل لاحق، تم فحص أغشية عضوية في هواء السطحين الداخلي والخارجي لنواذ في جنوب بحيرة أونتاريو وذلك للنظر في محتواها من الإثريات ثنائية الفينيل متعددة البروم، وقام بهذا العمل (Butt وغيره ٢٠٠٤). وفيما كان BDE-209 هو السائد في محتوى الإثريات ثنائية الفينيل متعددة البروم من المزيج عشاري البروم، إلا أنه كانت هناك كميات ملحوظة من متجانسات تؤول إلى مزيج الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل. وقد أعطت الحسابات السابقة تركيزات لإجمالي الإثريات ثنائية الفينيل متعددة البروم قدرها ٤,٨ بيكوغرام/م<sup>٣</sup> في الهواء الخارجي و ٤٢,١ بيكوغرام/م<sup>٣</sup> في هواء الأماكن المغلقة.

وقد درس Jaward وغيره (2004a) مجموعته من ٧١ عينة هواء سالبة باستخدام وسائل الأغشية شبه النفاذة في ثمانية متجانسات للإثير ثنائي الفينيل متعدد البروم (BDE-28, BDE-47, BDE-49, BDE-75, BDE-99, BDE-100, BDE-153 and BDE-154) خلال فترة ستة أسابيع عام ٢٠٠٢ في مواقع نائية وريفية وحضرية في ٢٢ بلداً في أوروبا. وقد رصدوا الإثريات ثنائية الفينيل متعددة البروم فيما يقرب من ٥٠ في المائة من العينات، وقدرت التركيزات المكافئة لمحمل الإثريات ثنائية الفينيل متعددة البروم في الهواء من بيانات العينات السالبة من ٠,٥ إلى ٢٥٠ بيكوغرام/م<sup>٣</sup>. وكان محور معظم التركيزات الأعلى هو المملكة المتحدة التي لها سجل في إنتاج الإثير ثنائي الفينيل متعدد البروم، كما كانت مستخدماً رئيسياً لمركبات الإثير ثنائي الفينيل متعدد البروم نتيجة لقواعد الحريق الصارمة في البلد. ومن الواضح أن المملكة المتحدة مصدر إقليمي للإثريات ثنائية الفينيل المبرومة في الأجواء الأوروبية، وعلى العكس من ذلك فإن المستويات التي تصل أوروبا من الغرب (فوق المحيط الأطلنطي) منخفضة. ورصدت قيم مرتفعة أخرى في المراكز الحضرية في أراضي أوروبا الرئيسية - مثل العينات من أثينا وبيثلوفن (هولندا) وجنيف وميلانو وسيفيل. ووجدت قيم منخفضة للغاية أو لا يمكن رصدها في المواقع النائية/الخلفية وخاصة في آيسلندا وأيرلندا والنرويج والسويد، وكانت القيم في أوروبا الشرقية منخفضة عموماً. وأسهم كل من BDE-47 و BDE-99 بنسبة ٧٥ في المائة تقريباً من محمل الإثريات ثنائية الفينيل المبرومة وهي نسبة تماثل المنتج التقني برومكال 70-5DE الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري.

وفي الولايات المتحدة، استخدمت العينات كبيرة الحجم لفحص تركيزات الإثير ثنائية الفينيل متعددة البروم الغازية والجسيمية في خمسة مواقع (حضرية وشبه حضرية وزراعية ونائية) من ميد ويست إلى خليج المكسيك كل اثني عشر يوماً خلال الفترة ٢٠٠٢ - ٢٠٠٣ (Hoh and Hites 2005). وكان متوسط تركيز جميع الإثريات ثنائية الفينيل متعددة البروم في موقع شيكاغو يبلغ  $100 \pm 35$  بيكوغرام/م<sup>٣</sup> أي أعلى بما يتراوح بين ٣ و ٦ مرات عن تلك الموجودة في المواقع الأخرى، وأعلى بكثير من القياسات التي أجريت في الفترة ١٩٩٧ - ١٩٩٩ (Strandberg et al. 2001). وكان متوسط تركيزات الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل يبلغ ٣١ بيكوغرام/م<sup>٣</sup> في موقع شيكاغو أي بما يزيد من ٢ إلى ٤ مرات عن القيم في المواقع الأخرى.

وتبين نتائج نموذج سرعة الزوال أن الإثريات ثنائية الفينيل متعددة البروم تنقسم بدرجة كبيرة إلى كربون عضوي في التربة ورسوبيات، وأن ثباتها سوف يتأثر بقوة بمعدلات التحلل في هذه الوسائط (على الرغم من أنها ليست معروفة تماماً). ولا توجد سوى نسبة ضئيلة من الإثريات ثنائية الفينيل متعددة البروم في الهواء والماء. فإذا كان هذا هو الوضع، فإن ذلك يشير إلى أن هذه المركبات لها إمكانات الانتقال بعيد المدى المحددة (Prevedouros et al. 2004a, Gouin and Harner 2003). ويتوافق ذلك مع قرب الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل من الكربون، وانخفاض معدلي الذوبان في الماء (١ ميكروغرام/لتر)، وانخفاض ضغط البخار ( $1.0 \times 10^{-6}$  باسكال). غير أن (Gouin and Harner 2003) يشير إلى أن

الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم قد تتعرض، نتيجة لخواصها الفيزيائية الكيميائية لتبادل هوائي - سطحي نشط بسبب موسمية واستمرارية التقلبات في درجات الحرارة. وعلى ذلك فلن يسفر ذلك عن إمكانية الانتقال بعيد المدى للإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم من خلال سلسلة من قفزات الترسيب/التطاير، والمعروفة باسم تأثير "الجتادب". وتدعم البيانات البيئية هذا الافتراض. وقد رصد Lee et al (2004) تركيزات للإثير ثنائي الفينيل متعدد البروم في الجو عند موقعين ريفي وشبه ريفي في إنجلترا، وموقع ناء على الساحل الغربي من أيرلندا في ٢٠٠٠، وفي ٢٠٠١ على التوالي. وكان يحمل تركيزات الإثير ثنائي الفينيل متعدد البروم في ماسي هيغ في بولندا ٠,٢٢ إلى ٥,٠ بيكوغرام/م<sup>٣</sup>. بمتوسط ٢,٦ بيكوغرام/م<sup>٣</sup>. وكانت تراقب بالدرجة الأولى بواسطة حركة الهواء الأفقية. وكانت تحمل التركيزات في هازيلريج (في شمال غرب إنجلترا) ٢,٨ إلى ٣٧ بيكوغرام/م<sup>٣</sup>. بمتوسط قدره ١٢ بيكوغرام/م<sup>٣</sup>، وكانت شيلتون (جنوب غرب إنجلترا) ٣,٤ إلى ٣٣ بيكوغرام/م<sup>٣</sup>. بمتوسط قدره ١١ بيكوغرام/م<sup>٣</sup>. وكانت بيانات المتجانس تماثل، في المتوسط، ذلك الخاص بمادة الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل التجارية. وكانت تركيزات الإثير ثنائي الفينيل متعدد البروم تتأثر بقوة، في الموقعين في إنجلترا أثناء فصل الصيف، بدرجة الحرارة مما يشير إلى أن عمليات التبادل الجوي/الأرضي لها دور هام في تحديد التركيزات في الغلاف الجوي.

وقد تحددت تركيزات الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم في عينات التربة التي جمعت على طول قطاع من خطوط العرض تقع عبر المملكة المتحدة والنرويج في أراض شجرية نائية/ريفية (مخروطية وعريضة الأوراق) ومواقع أراضي عشبية (Hassanin et al. 2004). وكانت متوسط تحمل تركيزات الإثيرات ثنائية الفينيل المبرومة تتراوح بين ٦٥ و ١٢٠٠٠٠ نانوغرام/كغ من الوزن الجاف. وكانت متجانسات BDE-47، BDE-99، BDE-100، BDE-153 و BDE-154 التي تغطي المكونات الرئيسية لمادة الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل التجارية تغلب على نمط المتجانسات في التربة. وقد فسر ذلك على أنه دليل على أن تحول المتجانسات من الأملاح المعالجة بالمنتج التجاري من المصدر إلى الهواء إلى التربة يتم بكفاءة مماثلة عموماً، وأنه لا يحدث الكثير من التحلل للمتجانسات نتيجة للعمليات النشطة سواء خلال الانتقال في الغلاف الجوي أو داخل التربة ذاتها. وكانت هناك قرائن على وجود تجزئة في منطقة خطوط العرض لمتجانسات الإثيرات ثنائية الفينيل المبرومة على الكميات ذات الصلة من BDE-47 وزيادة المتجانسات الأخف وزناً في اتجاه الشمال (مع تزايد المسافة من مناطق المصدر) مع تناقص نسبة BDE-99 والمتجانسات الأكثر وزناً. وقد أسفرت تركيزات متجانسات الإثيرات ثنائية الفينيل المبرومة مقابل نسبة المادة العضوية في التربة عن منحدرات مختلفة للمتجانسات المختلفة. وقد لوحظت المنحدرات الشديدة في المتجانسات الأخف وزناً مثل BDE-47، مما يشير إلى أنها قد تعرضت لبعض المبادلات بين الهواء وسطح الأرض ("القفزات") في حين كانت تلك الأثقل وزناً من المتجانسات مثل BDE-153 قريبة من الصفر مما يشير إلى أن التربة قد احتفظت بها بدرجة أكبر من الفعالية عقب الترسيب. ورصدت دراسة يابانية تباينات فصلية في تقسيم الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم بين مرحلة الغازات ومرحلة الجسيمات. وكان الجزء الخاص بجسيمات الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم أعلى في العينات التي جمعت في الشتاء عن تلك التي جمعت في الصيف (Hayakawa et al. 2004). ويتوقع أن ينتقل الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل في البيئة وذلك في الغالب من خلال امتصاصه في الجسيمات نتيجة لانخفاض سرعتها وانخفاض ذوبانها وارتفاع صلته بمركبات الكربون. وثمة نتائج من الدراسات البيئية تشير إلى أن الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم تنتقل في الجسيمات التي يحملها الهواء، وأنها معرضة للترسيب الرطب (ter Schure et al. 2004a, ter Schure و Larsson 2002). وتعتمد عمليات الانتقال الأخرى على مآل الحبيبات. ويعتمد المآل بعد الترسيب على الأرض

على مستوى التعرية بالرياح الذي يمكن أن يتباين من فصل لآخر. كما يعتمد المآل بعد الترسيب في البحار على العمليات المحيطية مثل طبقات المياه والنقل بواسطة التيارات على الطبقات السطحية.

وقام Schure وغيره (٢٠٠٤) بجمع عينات من الرسوبيات السائلة في الغلاف الجوي في جزيرة جوتسكا ساندون في منطقة البلطيق خلال فترة عشرة أسابيع في خريف عام ٢٠٠١. وقد اختبر موقع أخذ العينات بسبب موقعه المحوري في بحر البلطيق، وبسبب عدم وجود تلوث محلي معروف المصدر. وجرى تحديد عشر متجانسات (BDE-28، BDE-47، BDE-85، BDE-99، BDE-100، BDE-153، BDE-154، BDE-183، BDE-209). وكان متوسط مجمل تركيزات الإثريات ثنائية الفينيل المبرومة الوسيط ( $\Sigma$ BDE) يمثل كمية تركيزات المتجانسات المحددة في كل دراسة) يبلغ ٨,٦ بيكوغرام/م<sup>٣</sup> وكانت مركبات الإثريات ثنائية الفينيل المبرومة ترتبط بالدرجة الأولى بالجسيمات. وتشير مقارنة تمت بين مستويات PCB في الغلاف الجوي إلى أنه بالنظر إلى أن تركيزات PCB في هواء منطقة البلطيق تتناقص، فإن مدخلات مركبات الإثريات ثنائية الفينيل المبرومة بواسطة الترسيب في الغلاف الجوي في منطقة البلطيق تتجاوز الآن مدخلات مركبات PCB. معامل يقترب من ٤٠ مرة.

وقد تحددت الإثريات ثنائية الفينيل المبرومة في التهطال على جنوبي السويد خلال فترة أسبوعين عام ٢٠٠٠ (ter Schure and Larsson, 2002). وتم فصل الجسيمات ذات الصلة وأطوار "الدوبان" خلال أخذ العينات، وتبين أن  $18 \pm 65$  في المائة من متوسط مجمل تركيزات الإثريات ثنائية الفينيل المبرومة يرتبط بالجسيمات. وكان المتوسط المرجح لحجم تركيز متوسط مجمل الإثريات ثنائية الفينيل المبرومة (تسع متجانسات) في حالة المطر يبلغ ٢٠٩ بيكوغرام/لتر وأن مجموع معدل الترسيب كان  $1 \pm 2$  m<sup>2</sup>/يومياً. وكان بيان المتجانسات في كلتي المرحلتين من الترسيب الإجمالي تتحكم فيه BDE-209 وبعد ذلك BDE-47، BDE-99 و BDE-183، وتمثل المدخلات من جميع الإثريات ثنائية الفينيل متعددة البروم التجارية. وقد وجد الباحثون أن الجسيمات المرتبطة بالإثريات ثنائية الفينيل المبرومة قد أزيلت بفعالية خلال فترات الأمطار القصيرة، وأن تنظيف الحبيبات يعتبر آلية هامة للترسيب الرطب للإثريات ثنائية الفينيل المبرومة .

وقد أحرى البرنامج التعاوني لرصد وتقييم الانتقال بعيد المدى للملوثات الهوائية في أوروبا (EMEP) تقيماً نموذجياً لاحتمالات انتقال الإثريات ثنائية الفينيل المبرومة بعيد المدى وثباته في الغلاف الجوي العابر للحدود. وقد رُؤى أن الانتقال بعيد المدى للملوثات يتأثر بشدة بالعمليات البيئية مثل التحلل والترسيب، والتقسيم بين الغازات والجسيمات، والتبادل الغازي مع السطح الأساسي. وقد وجد أن عملية الإزالة الرئيسية من الغلاف الجوي للمتجانسين BDE-47 و BDE-99 تمثل الترسيب في الأرض ٧٨ في المائة ومياه البحار ١٥ في المائة بالنسبة لـ BDE-42 ؛ و ٧٧ في المائة في الأرض و ٢١ في المائة من البحر بالنسبة لـ BDE-99 ولم يتحلل سوى ٧ في المائة من BDE-47 و ٢ في المائة من BDE-99. وكانت فترة التنصيف العمري المحسوبة تعادل ٧ أيام بالنسبة للمادة BDE-47 و ١١ يوماً بالنسبة للمادة BDE-99. وبينت النتائج توزيعاً مكانياً للمادة BDE-47 يغطي القطب الشمالي والمحيط الأطلنطي وآسيا وأفريقيا. وقد حسبت مسافات الانتقال بالنسبة للمتجانسين. وكانت هذه المسافة تعادل ٤٣٠٠ كيلومتر في BDE-47 و ٢٨٠٠ كيلومتر في BDE-99 (البرنامج التعاوني لرصد وتقييم الانتقال بعيد المدى للملوثات الجوية في أوروبا (٢٠٠٤)).

وفحص (Wania and Dugani (2003) إمكانات الانتقال بعيد المدى للإثريات ثنائية الفينيل متعددة البروم باستخدام عدد من النماذج - TaPL3-2.10، ELPOS-1.1.1، Chemrange-2، Globo-POP-1.1، وخواص كيميائية فيزيائية مختلفة - مثل قابلية الدوبان في الماء، وضغط البخار، ومعامل تفريق الماء عن الأوكتانول، ومعامل تفريق الأوكتانول عن الهواء ومعامل

تفريق الهواء عن الماء وفترات نصف العمر التقديرية في مختلف الوسائط. وقد وجدنا أن جميع النماذج تعطي نتائج متشابهة مع إظهار إثير رباعي البروم ثنائي الفينيل الأكبر إمكانية للانتقال عبر الغلاف الجوي، وإثير عشاري البروم ثنائي الفينيل الأقل إمكانية بهذا المجال. وقدر الباحثان مسافة النقل النوعي بأنها تتراوح بين ١١١٣ إلى ٢٤٨٣ كيلو متراً بالنسبة لرباعي البروم و٦٠٨ إلى ١٣٤٩ كيلومتراً لحماسي البروم و٥٢٥ إلى ٨٥٤ كيلو متراً لسداسي البروم و٤٨٠ إلى ٧٣٥ كيلو متراً لعشاري البروم. وتعرف مسافة الانتقال النوعية بأنها المسافة التي ينتقل بها جزء من الهواء حتى إزالة  $1/e$  (ما يقرب من ٦٣ في المائة) من المادة الكيميائية من خلال عمليات التحلل أو الترسيب (Gouin and Mackay 2002).

وخلص تقييم المخاطر في الاتحاد الأوروبي (الاتحاد الأوروبي ٢٠٠٠) إلى أن الجزء الأكبر من الإطلاقات تنتهي في التربة. ويمكن توقع أن ينتقل الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل، من التربة، أساساً من خلال الترشيح بالمياه في جزء المواد الصلبة المشتبه فيها أو من خلال التعرية بالرياح حيثما تحدث. ويمكن تطاير جزء صغير من التربة وخاصة في الفصل الدافئ ومن ثم يمكن اعتباره آلية بديلة مهمة للانتقال بالإضافة إلى التطاير والانتقال عبر الهوائي الأفقي للبخار المحدد في الدراسة. وعلى الرغم من أن الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل لها قدرة منخفضة على الذوبان في الماء، فقد تم رصده في البحيرات والبحار ويمكن أن ينتقل مع المياه في المراحل السائلة والصلبة (Peltola et al. 2001). ويشير حدوثها في الطيور والأسماك المهاجرة إلى احتمال الانتقال من خلال هجرة الحيوانات إلا أنه يبدو أن المسار الرئيسي للانتقال هو من خلال الغلاف الجوي.

#### ٢-٢-٣-٢ المستويات في المناطق النائية

وتمثل المستويات المرصودة في الغلاف الجوي والنباتات والحيوانات والبيئة في القطب الشمالي أقوى الأدلة على إمكانية مركبات الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل على الانتقال بعيد المدى (Verreault et al. 2005, Verreault et al. 2004, Norström et al. 2002, Herzke et al. 2003, Vorkamp et al. 2004a and b, Wolkers et al. 2004, Thron et al. 2004, Thomas et al. 2004, Ikomomou et al. 2002, Christensen et al. 2002, de Wit et al. 2004, AMAP 2002 and AMAP 2005).

وثمة دراسات عديدة تشير إلى وجود مستويات من الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل في المناطق النائية من أوروبا أيضاً (Vives et al. 2004, Hassanin et al. 2004 and Zenegg et al. 2003). وتعتبر المستويات في المناطق النائية دليلاً على الانتقال بعيد المدى.

وقد كُشف عن الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل (فضلاً عن الإثيرات ثنائية الفينيل المبرومة كلها) في هواء مناطق القطب الشمالي في كندا وروسيا بتركيزات تصل إلى ٢٨ بيكوغرام/م<sup>٣</sup> (Alaee et al. 2002). وأبلغ ستراند بيرج وآخرون (٢٠٠١) عن تركيزات الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم الكلية (BDE-47، BDE-99، BDE-100، BDE-153، BDE-154، BDE-190، BDE-209) في الهواء من البحيرات العظمى خلال الفترة ١٩٩٧ - ١٩٩٩؛ ويتراوح متوسط التركيزات استناداً إلى أربع عينات من كل موقع من أربعة مواقع بين ٤,٤ بيكوغرام/م<sup>٣</sup> بالقرب من بحيرة سوبيريور في ١٩٩٧ و٧٧ بيكوغرام/م<sup>٣</sup> في شيكاغو في ١٩٩٨. وكان متوسط التركيزات في الهواء من إجمالي الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم (١٩٩٧ و ١٩٩٨ و ١٩٩٩) مواقع أخذ العينات يتراوح بين ٥,٥ إلى ٥٢ بيكوغرام/م<sup>٣</sup>. وكانت متجانسات رباعي وخماسي البروم تشكل ما يقرب من ٩٠ في المائة من مجموع كم الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم في هذه الدراسة.

وعند  $20 \pm 3$  درجة مئوية، كان نحو ٨٠ في المائة من متجانسات خماسي البروم في حالة بخار في حين كان نحو ٧٠ في المائة من متجانسات سداسي البروم يرتبط بالمرحلة الجسيمية.

وأجريت دراسة أكبر ترصد الإثبات ثنائية الفينيل المبرومة في أسماك التروت (ثلاثة أنواع) من إحدى عشرة بحيرة جبلية عالية في أوروبا (ارتفاع ٥٦٦ إلى ٢٤٨٥ متراً) خط عرض (Vives et al., 2004). وقد اختبرت هذه البحيرات باعتبارها بعيدة عن مصادر انبعاثات التلوث المحلي، وقد رؤى أن المصدر الوحيد للإثبات ثنائية الفينيل المبرومة في هذه البحيرات كان نتيجة للانتقال في الغلاف الجوي والترسيب. وكانت المتجانسات الرئيسية التي وجدت (من بين ٣٩ كان قد تم تحديدها) هي BDE-47 و BDE-99 يليهما BDE-100 و BDE-153 و BDE-154 و BDE-28، ووجدت هذه المتجانسات في جميع العينات التي تم تحليلها. ووجد أعلى متوسط يحمل تركيز الإثبات ثنائية الفينيل المبرومة في عضلات الأسماك وكبدتها في لوكناجرا - استكلندا حيث بلغت ١,٢ نانوغرام/كغ بالوزن الرطب على التوالي (١٧٧ و ٣٦٦ نانوغرام/كغ على أساس وزن المحتوى الدهني). ولم تلاحظ أية رابطة بين حدوث هذه المركبات وخطوط الطول، وخطوط العرض أو درجات الحرارة، وانتهى الباحثون إلى أن توزيع الإثبات ثنائية الفينيل المبرومة في البيئة لم يصل بعد إلى حالة من الثبات.

## ٢-٣ العرض

### ٢-٣-١ المستويات

انتشرت مادة الإثبات خماسي البروم ثنائي الفينيل على نطاق واسع في البيئة العالمية وتتوافر كمية كبيرة من بيانات الرصد مع وجود مستويات مرصودة في الطيور البحرية والبرية والثدييات البحرية والبرية والرسوبيات والتربة والأغذية البحرية والأسماك. وتظهر دراسة عالمية أجراها (Ueno et al. 2004) Ueno et al. (2004) لمادة الإثبات خماسي البروم ثنائي الفينيل في التونة الوثابة (Katsuwonus pelamis) حدوث انتشار واسع في المياه العميقة في مختلف أقاليم العالم. ويقدم الجدول ٢-٥ عرضاً عاماً للمستويات التي وجدت في مختلف أنحاء العالم.

ويمكن أن يشكل تلوث البيئة والنباتات والحيوانات في المناطق النائية خطراً على الأنواع والنظم الإيكولوجية الهشة. ففي القطب الشمالي، رصد الإثبات خماسي البروم ثنائي الفينيل بالإضافة إلى الملوثات الأخرى المثيرة للقلق، بمستويات مرتفعة في الطيور والثدييات المفترسة العليا (Verreault et al. 2005, Verreault et al. 2004, Norström et al. 2002, Herzke et al. 2003, Vorkamp et al. 2004a and b, Wolkers et al. 2004, Thron et al. 2004, Thomas et al. 2004, Ikomomou et al. 2002) مما يبين أن شبكات الأغذية في القطب الشمالي تتأثر بشدة. ورصد ووكرز وآخرون (2004) مستويات من الإثبات خماسي البروم ثنائي الفينيل في الحيتان البيضاء في القطب الشمالي، وهي من الأنواع المحمية بمقتضى اتفاقية الأنواع المهاجرة (اتفاقية بون). وكان متوسط يحمل تركيزات الإثبات ثنائية الفينيل المبرومة (المتوسط الهندسي؛ ٢٢ متجانس) ٢٣٤ و ١٦١ و ٢٩ ميكروغرام/كغ في الذكور الصغيرة والبالغة والإناث البالغة من الحيتان البيضاء

والواقع أن هناك مستويات مرتفعة مرصودة من مادة الإثبات خماسي البروم ثنائي الفينيل في أنواع عديدة بأعداد تثير القلق تحظى بحماية اتفاقية بون. وتشير العديد من الدراسات (Jaspers et al. 2004, Herzke et al. 2005, Lindberg et al. 2004, D'Silva et al. 2004, Law et al. 2005, Sinkkonen et al. 2004, Sellström et al. 2003, Kannan et al. 2005, Ramu et al. 2004 and Wolkers et al. 2005) إلى أن الإثبات خماسي البروم ثنائي الفينيل ينتشر على نطاق واسع في الصقر الجوال والصقر الصغير، والباز، والصقر الذهبي، والصقر الحوام، والحيتان البيضاء، والدولفين الأيروادي والدولفين الأحدب الهندي -

الهادي، وكلها تتمتع بالحماية من اتفاقية بون. كما رصدت مستويات مرتفعة من الإثبات ثنائية الفينيل متعددة البروم في بيض الصقر الجوال في السويد (Lindberg *et al.* 2004) حيث كان متوسط مجمل تركيزات الإثبات ثنائية الفينيل المبرومة الأحادية مرتفعة وصلت إلى ٣٩٠٠٠ ميكروغرام/كغ بوزن المحتوى الدهني، وهو أعلى مستوى للتركيز شوهد حتى الآن في الحياة البرية.

وتحمي اتفاقية بون أعداد خنازير البحر المرفأية (*Phocoena phocoena*) في بحري الشمال والبلطيق. وقد رصدت الدراسات مستويات مرتفعة في هذه الأعداد (Thron *et al.* 2004 and Covaci *et al.* 2002). وقد تبين في دراسة أجراها ثرون وآخرون (٢٠٠٤، وكوفاسي وآخرون ٢٠٠٢). أن الحيوانات ضعيفة البنية (انخفاض مستوى الكثافة الدهنية) تحتوي على تركيزات أعلى بكثير من الحيوانات الأخرى. ولم تظهر سوى الإناث تركيزات منخفضة مع تقدم العمر مما يشير إلى تلاشيها بالانتقال من الأم إلى صغارها.

ومن ناحية أخرى فإن الخنازير البحرية المرفأية تدرج بالإضافة إلى الصقر الجوال والصقر الصغير في قائمة الأنواع التي تخضع للحماية الشديدة (المعرضة للخطر) في الاتفاقية الخاصة بصون الحياة البرية والموائل الطبيعية في أوروبا (اتفاقية برن). كذلك فإن النسر البحري أبيض الذيل يندرج في قائمة الأنواع المعرضة للخطر في اتفاقية بون. ورصدت مستويات تثير القلق في كل من الأنواع والبيض (Herzke *et al.* 2005). وتندرج الحيتان البيضاء والدولفين الايروادي في قائمة الأنواع الخاضعة للحماية (الضعيفة). ووجدت مستويات مرتفعة في الدولفين الأبيض الأنف وهو نوع آخر من الأنواع المعرضة للخطر. وتتعهد الأطراف في هذه الاتفاقية باتخاذ التدابير الملائمة لضمان صون الأنواع المعرضة للخطر الضعيفة وموائلها.

الجدول ٢-٥ مستويات مادة الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل (*BDE-99*) في مختلف أنحاء العالم ( $LW =$  وزن المحتوى الدهني،  $DW =$  الوزن الجاف).

| البلد/الإقليم      | الكانن/القسم                            | مستويات PentaBDE   | المراجع                     | التعليقات   |
|--------------------|---|--|-----------------------------|---|
| أوروبا             | مرحلة الغازات في الغلاف الجوي           | 10-120 pg/m <sup>3</sup>                                 | Jaward <i>et al.</i> 2004   | ٢٢ بلداً  |
| اليابان            | مرحلة الحبيبات، الغازات في الغلاف الجوي | 0.05-0.9 pg/m <sup>3</sup><br>0.05-19' pg/m <sup>3</sup> | Hayakawa <i>et al.</i> 2004 | تقاس في الصيف   |
| السويد             | ترسيبات                                 | <0.7-51.4 ng/g DW  | Palm <i>et al.</i> 2002     | الأهوار عند المنبع  |
| المملكة المتحدة    | التربة                                  | 78 – 3200 pg/g DW  | Hassanin <i>et al.</i> 2004 |   |
| أوروبا الغربية     | ترسيبات                                 | <0.2-6.9 ng/g DW   | Palm <i>et al.</i> 2002     | المصبات   |
| اليابان، لوزاكا    | ترسيبات                                 | 9-28 ng/g DW   | Palm <i>et al.</i> 2002     |   |
| شمال المحيط الهادي | التونة الوثابة                          | 0.18-2.1 ng/g LW   | Ueno <i>et al.</i> 2005     |   |
| اليابان            | التونة الوثابة                          | 1.1-1.7 ng/g LW  | Ueno <i>et al.</i> 2005     | المياه العميقة  |
| شرق بحري الصين     | التونة الوثابة                          | 2.4-4.7 ng/g LW  | Ueno <i>et al.</i> 2005     |   |
| الفلبين            | التونة الوثابة                          | 2.1 ng/g LW  | Ueno <i>et al.</i> 2005     | المياه العميقة  |
| البرازيل           | التونة الوثابة                          | 1.9 ng/g LW  | Ueno <i>et al.</i> 2005     | المياه العميقة  |
| كندا               | التمكود الأطلسي                         | 77 ng/g LW   | Law <i>et al.</i> 2003      |   |
| بحيرة شيليك، الهند | الدولفين الروادي                        | 0.12-0.78 ng/g LW  | Kannan <i>et al.</i> 2005   | من الأنواع المعرضة لخطر الانقراض                                  |
| هونغ كونغ، الصين   | الدولفين الأحدب الهندي الهادي           | 33.6-720 ng/g LW   | Ramu <i>et al.</i> 2005     | المياه الساحلية، ١٢% من مجمل الإثبات ثنائية الفينيل متعددة البروم |
| المملكة المتحدة    | الدولفين الأبيض الأنف                   | 1480 ng/g LW   | Law <i>et al.</i> 2003      | من الأنواع المعرضة لخطر الانقراض                                  |
| هونغ كونغ، الصين   | الخنازير البحرية غير الزعنافية          | 27.6-117.6 ng/g LW                                       | Ramu <i>et al.</i> 2005     | المياه الساحلية، ١٢% من مجمل الإثبات ثنائية الفينيل               |

| متعددة البروم  |                                  |                   |                       |                                     |
|--|----------------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| ساحل المحيط الهادي،<br>١٢% من مجمل الإثباتات<br>ثنائية الفينيل متعددة البروم | Kajiwara <i>et al.</i><br>2004   | 2.64-4.56 ng/g LW | فقمة الفرو الشمالية   | اليابان                             |
|  | Gabrielsen <i>et al.</i><br>2004 | 0.7-4.7 ng/g LW   | الدب القطبي           | سفالبارد، القطب الشمالي،<br>النرويج |
|  | Muir <i>et al.</i> 2006          | 1.04-11.3 ng/g LW | الدب القطبي           | القطب الشمالي الكندي                |
|  | Herzke <i>et al.</i> 2003        | 0-7.9 ng/g LW     | النورس الثلجي         | بيجورنويا القطب الشمالي،<br>النرويج |
| في البيض/ من الأنواع<br>المعرضة لخطر الانقراض                                | Herzke <i>et al.</i> 2005        | 6-184 ng/g LW     | النسر أبيض الذيل      | النرويج                             |
| من الأنواع المعرضة لخطر<br>الانقراض  | Lindberg <i>et al.</i><br>2004   | 110-9200 ng/g LW  | الصقور الجواله        | السويد                              |
|  | Law <i>et al.</i> 2003           | 4.8 ng/g LW       | الحيتان مستديرة الرأس | أستراليا                            |
| أنواع معرضة للخطر  | Law <i>et al.</i> 2003           | 108 ng/g LW       | الحيتان البيضاء       | كندا                                |
| البحرية وفي المياه العذبة  | Law <i>et al.</i> 2003           | 0.3-11 ng/g LW    | الرخويات              | هولندا                              |
|  | De Wit <i>et al.</i> 2004        | 5.6 ng/g LW       | الضفادع               | السويد                              |
|  | Law <i>et al.</i> 2003           | 0.46 ng/g LW      | العوالق الحيوانية     | كندا                                |

### ٢-٣-٢ الاتجاهات

تشير معظم تحليلات الاتجاهات إلى ازدياد تركيزات الإثباتات ثنائية الفينيل متعددة البروم في البيئة والبشر ابتداء من سبعينات القرن الماضي مع وصولها إلى الذروة في منتصف تسعينات القرن الماضي، واستقرارها أو ثبوتهما في أوروبا (Covaci *et al.* 2002, Fångström *et al.* 2005, Thomsen *et al.* 2005 and Knudsen *et al.* 2005) ولكن مع زيادة مستمرة في القطب الشمالي (Vorkamp *et al.* 2005, AMAP 2002 and AMAP 2005). وأشار في الدراسات إلى أن الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل يتبع نفس اتجاهات مجمل تركيزات الإثباتات ثنائية الفينيل المبرومة. كما شوهدت هذه الزيادة في أمريكا الشمالية في الهواء والتربة والرسوبيات والحياة البرية إلا أنه لا تتوافر بيانات كافية تتيح التعليق على الاتجاهات في السكان من البشر.

وفي منطقة آسيا والمحيط الهادي، تظهر دراسة عن فقمة الفرو الشمالية على ساحل المحيط الهادي، زيادة في الإثباتات ثنائية الفينيل متعددة البروم تصل إلى نحو ١٥٠ مرة أكثر فيما بين ١٩٧٢ و ١٩٩٤ ثم انخفضت هذه المستويات إلى نحو ٥٠ في المائة في ١٩٩٨ (Kajiwara *et al.* 2004). وقد افترض أن الانخفاض في قيم الإثباتات ثنائية الفينيل متعددة البروم ترجع إلى التخلص التدريجي الطوعي لمركبات الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري في اليابان ١٩٩٠. وأظهرت مستويات BDE-99 نفس حجم مجمل الإثباتات ثنائية الفينيل متعددة البروم.

وقد تمكن نورسترون وآخرون (٢٠٠٢) بفضل تحليل بيانات بيض نورس الرنجة الموجودة في الأضابير (التي أخذت عيناتها في ١٩٨٣ و ١٩٨٧ و ١٩٨٩ و ١٩٩٠ و ١٩٩٢ و ١٩٩٣ و ١٩٩٦ و ١٩٩٨ و ١٩٩٩ و ٢٠٠٠) من أن يضع اتجاهات مؤقتة لتركيزات الإثباتات ثنائية الفينيل متعددة البروم خلال الفترة ١٩٨١ - ٢٠٠٠. وقد زادت تركيزات الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل (BDE-100، BDE-99، BDE-47)، في مواقع أخذ العينات عند بحيرة ميتشجان وبحيرة هورون وبحيرة أونتاريو بنحو ٧١ إلى ١١٢ مرة خلال هذين العقدتين (من ٤,٧ إلى ٤٠٠,٥ ميكروغرام/كغ بالوزن الرطب في بحيرة أونتاريو ومن ٨,٣ إلى ٣٩٢٧ ميكروغرام/كغ بالوزن الرطب من بحيرة ميتشجان ومن ٧,٦ إلى ٥٤١,٥ ميكروغرام/كغ بالوزن الرطب في بحيرة هورون). وقد وجد أن هذه الزيادات دليلية أُسيّة في جميع المواقع الثلاثة ( $r^2 = 0.903 - 0.964, p < 0.00001$ ).

وقام ووكفورد وآخرون (٢٠٠٢) بأخذ عينات لبيض البلشون الأزرق الكبير في ١٩٨٣ و ١٩٨٧ و ١٩٩١ و ١٩٩٦ و ١٩٩٨ و ٢٠٠٠ في جنوب كولومبيا البريطانية ووجدوا أن مجموع تركيزات الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم (مجموع متجانسات تيترا وبيتا وسداسي البروم) قد زاد من ١,٣١ إلى ٢٨٧ ميكروغرام/كغ بالوزن الرطب فيما بين ١٩٨٣ و ١٩٩٦ إلا أنه انخفض بعد ذلك بصورة طفيفة إلى ١٩٣ ميكروغرام/كغ بالوزن الرطب في ٢٠٠٠. وقاموا كذلك بأخذ عينات لبيض الموز غليظ المنقار في شمال كندا في ١٩٧٥ و ١٩٨٧ و ١٩٩٣ و ١٩٩٨، ولاحظوا اتجاهها يميل إلى الزيادة التدريجية في تركيزات الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم (مجموع متجانسات رباعي وخماسي وسداسي البروم) في هذا البيض من ٠,٤٣ إلى ٠,٨٩ ميكروغرام/كغ وزن غير الجاف في ١٩٧٥ إلى ١,٨٣ - ٣,٠٦ ميكروغرام/كغ بالوزن الرطب في ١٩٩٨.

ورصدت الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم في طائفة من الثدييات البحرية، وأشار الي وآخرون (١٩٩٩) إلى متوسط لتركيزات الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم (من ثنائي إلى سداسي البروم) في جلد الثدييات البحرية من القطب الشمالي الكندي مقداره ٢٥,٨ ميكروغرام/كغ من المادة الدهنية في إناث الفقمة الحلقيه و ٥٠,٠ ميكروغرام/كغ من المادة الدهنية في ذكور الفقمة الحلقيه و ٨١,٢ ميكروغرام/كغ من المادة الدهنية في إناث الحيتان البيضاء و ١٦٠ ميكروغرام/كغ في ذكور الحيتان البيضاء. وكان BDE-47، والإثير رباعي البروم ثنائي الفينيل هو المتجانس الغالب يليه الخامسي بروم BDE-99. وأشار ايكونومو وآخرون (٢٠٠٠ - ٢٠٠٠ ب) إلى تركيز الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم في عينات النباتات والحيوانات من الساحل الغربي وشمال غرب الأراضي الكندية. ووجد أن أعلى تركيزات مخلفات الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم الكلية، ٢٢٦٩ ميكروغرام/كغ من المادة الدهنية في جلد الخنازير البحرية المرفأية في منطقة فانكوفر. وكان أحد المتجانسات المحتي على تركيزات تبلغ ١٢٠٠ ميكروغرام/كغ وهو BDE-47 يشكل ما يزيد قليلاً عن نصف الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم الكلية في العينة. وقام ايكونومو وآخرون (٢٠٠٢ أ) بتحليل الاتجاهات المؤقتة في الثدييات البحرية في القطب الشمالي من خلال قياس مستويات الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم في جلد ذكور الفقمة الحلقيه لقطب الشمالي خلال الفترة ١٩٨١-٢٠٠٠. وزاد متوسط مجموع التركيزات آسيا من ٠,٥٧٢ ميكروغرام/كغ من المادة الدهنية في ١٩٨١ إلى ٤,٦٢٢ ميكروغرام/كغ في ٢٠٠٠ وهي زيادة تزيد بمقدار ثمانية مرات. ورأوا أن إثيرات خماسي وسداسي البروم ثنائي الفينيل تزيد بنحو نفس المعدل تقريبا (تضاعف كل ٤,٧ و ٤,٣ سنوات على التوالي)، وهو ما يعتبر أسرع من الإثيرات رباعية البروم ثنائية الفينيل الذي كانت مرات المضاعفة فيها تبلغ ٨,٦ سنوات ومرة أخرى، كانت BDE-47 هي المادة الغالبة تليها BDE-99 و BDE-100.

وشهدت زيادة ملحوظة في مستويات الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم النسيجية في عينات الجلد التي جمعت من الفقمة المرفأية لخليج سان فرانسيسكو خلال الفترة ١٩٨٩-١٩٩٨ (She et al. 2002). وإن زادت مستويات الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم الكلية (مجموع مركبات الإثيرات ثنائية الفينيل المبرومة ٤٧ و ٩٩ و ١٠٠ و ١٥٣ و ١٥٤) من ٨٨ ميكروغرام/كغ من المادة الدهنية إلى حد أقصى قدره ٨٢٣٥ ميكروغرام/كغ من المادة الدهنية خلال هذه الفترة القصيرة. وفحص ستيرن واكونومو (٢٠٠٠) مستويات الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم في نمط SE من الحيتان البيضاء في خليج بافن خلال الفترة ١٩٨٢-١٩٩٧ ووجدوا أن مستويات الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم الكلية (المتجانسات من ثلاثي إلى سداسي) قد زادت زيادة كبيرة. وكان متوسط تركيزات الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم الكلية نحو ٢ ميكروغرام/كغ من المادة الدهنية في ١٩٨٢ ووصلت إلى أقصى حد لها البالغ نحو ١٥ ميكروغرام/كغ من

المادة الدهنية في ١٩٩٧. وكان PBDE-47 هو المتجانس الغالب. بمتوسط تركيزات يبلغ ما يقرب من ١٥ ميكروغرام/كغ من المادة الدهنية في ١٩٩٧. وبلغت مخلفات الإثبات ثنائية الفينيل متعددة البروم الكلية (لم ترد تركيزات المتجانسات المختلفة) في جلد الحيتان البيضاء في مصب نهر سان لوران الذي أخذت عيناته في ١٩٩٧-١٩٩٩ مقدار ٤٦٦ (± ٢٣٠) ميكروغرام/كغ وزن غير جاف في جلد الإناث البالغة. وكانت هذه القيم تزيد بمقدار عشرين مرة تقريباً عن التركيزات في عينات الحيتان البيضاء التي جمعت في ١٩٨٨-١٩٩٠ (Lebeuf et al. 2001).

وقد قدم بريفيدورس وآخرون النتائج المستمدة من عملية نمذجة استخدام نموذج المآل البيئي متعدد الوسائط BETR للمتغير الأوروبي بشأن الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل التقني. وللتنبؤ باتجاهات التركيز في الغلاف الجوي في المستقبل، استخدم النموذج بأسلوبه الدينامي الكامل للفترة ١٩٧٠-٢٠١٠. وقد تنبأ بأن التركيزات في الغلاف الجوي قد تكون بلغت ذروتها في نحو عام ١٩٩٧ ثم انخفضت مع حدوث اختفاء "شامل في فترة نصف عمر تبلغ ٤,٨ سنة. وأعطت عمليات محاكاة الحالة الثابتة في النموذج توافقاً جيداً عموماً مع بيانات BDE-47 و BDE-99 المقاسة. غير أن البيانات التجريبية لأمريكا الشمالية الواردة أعلاه تبين حدوث زيادات مستمرة في التركيزات حتى عام ٢٠٠٠ على الأقل وعلى ذلك فإنه في حين أن نتائج النموذج تماثل بعض البيانات الأوروبية بتوافق معقول، لم تكن تتواءم مع البيانات المستمدة من أمريكا الشمالية.

وجرى تحليل ثلاثة مجالات تركيز مؤرخة من مواقع في أوروبا الغربية بالنسبة لعدد ١٤ متجانساً من الإثبات ثنائية الفينيل المبرومة (Zegers et al., 2003). فقد أظهرت المجالات الأساسية المستمدة من درامينفورج (النرويج) وغربي بحر وارين (هولندا) وبحيرة ووسيرن (ألمانيا) نمطاً يعتمد على الزمن في توزيع مركبات الإثبات ثنائية الفينيل المبرومة منذ بداية إنتاج مستحضرات PBDE. ويمكن تمييز مستحضرين من المستحضرات التجارية الثلاثة. ومن الواضح أن مستحضر خليط الخماسي موجود منذ بداية سبعينات القرن الماضي. ويتفق ذلك مع البيانات الخاصة بالإنتاج الصناعي لهذا المستحضر. وكانت تركيزات متجانسات الإثبات ثنائية الفينيل المبرومة المرتبطة بمادة الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل التجارية في قلوب رسوبيات من هولندا وألمانيا. قد ثبتت في معظم الطبقات الحديثة (١٩٩٥ - ١٩٩٧) في حين كانت التركيزات في تلك المأخوذة من درامينفورج ما تزال تتزايد في ١٩٩٩. ويشير عدم وجود جميع متجانسات الإثبات ثنائية الفينيل المبرومة في الطبقات الأقدم (الأعمق) من هذه القلوب الثلاثة فضلاً عن العديد من الطبقات الطيفية التي يتراوح عمرها بين ١٠٠ و ١٥٠ مليون سنة من منطقة كمبريدج، المملكة المتحدة أن متجانسات الإثبات ثنائية الفينيل المبرومة هذه لا تنتج بصورة طبيعية.

وأظهر التعرض البشري لثنائي الفينيل متعدد الكلور والإثبات ثنائية الفينيل متعددة البروم في اليابان في ١٩٨٠ و ١٩٩٥ أن مستويات هذه المركبات الأخيرة قد زادت زيادة كبيرة خلال فترة العشرين عاماً، على الرغم من وجود تباين كبير فيما بين الأقاليم. وكانت المتجانسات الرئيسية التي تم رصدها في المصل هي BDE-47 و BDE-99. وقد زادت معظم مستويات الإثبات ثنائية الفينيل متعددة البروم الكلية بأكثر من الضعف، وزادت في إحدى المناطق بعشرين ضعفاً مع وقوع قيم عام ١٩٩٥ في نطاق ٠,٦ - ٤١,٤ نانوغرام/غرام من المادة الدهنية (Koizumi et al. 2006).

## ٢-٣-٣ التوافر الأحيائي

رصدت الدراسات البيئية بشأن التوافر الأحيائي امتصاص الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل في كائنات التربة (Matscheko *et al.* 2002) والكائنات الموجودة في الرسوبيات (Matscheko *et al.* 2003) والكائنات المائية (Lithner *et al.* 2003, Voorspoels *et al.* 2003, Marsch *et al.* 2004, Kierkegaard *et al.* 2004, and Sinkkonen *et al.* 2004) مما يعتبر دليلاً على وصول الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل إلى شبكات الأغذية. ورصدت عمليات التراكم الأحيائي والتضخم الأحيائي اللاحق ويرد وصف لها في القسم ٢-٢-٢.

وجرى تحليل لتربة تم تعرضها لإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم بمختلف الوسائل بالنسبة لكل من BDE-66، BDE-47، BDE-99، BDE-100، BDE-153، BDE-154، BDE-183 (Matscheko *et al.*, 2002). كما جرى تحليل ديدان الأرض التي جمعت من جميع مواقع عينات التربة. وكان لجسم متجانسات الإثيرات ثنائية الفينيل المبرومة في جميع عينات التربة يغلب عليه BDE-47 و BDE-99. وأظهر تراكم المركبات في ديدان الأرض من المواقع وجود علاقة مباشرة بين التركيزات في التربة والتركيزات في الديدان. وكانت معاملات التراكم في النباتات - التربة من متجانسات BDE-47، BDE-99، و BDE-100 نحو ٥ (مادة عضوية/مادة دهنية). وعلى ذلك فإن ديدان الأرض الموجودة في التربة الملوثة سوف يحدث تراكم الإثيرات ثنائية الفينيل المبرومة على أنسجتها ونظراً لأن هذه الحيوانات تمثل قاعدة سلسلة الأغذية الأرضية بالنسبة لكثير من الكائنات، فإن ذلك يشكل طريقاً إلى تراكم مركبات الإثيرات ثنائية الفينيل المبرومة في الكائنات في المستويات الغذائية الأعلى.

ويخضع مصب نهر شيلدت الغربي لطائفة من مصادر الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم المشتبه فيها مثل معامل صناعة ميثبات اللهب المعالجة بالبروم، وميناء انتويرب، وصناعة النسيج الواقعة على مسافة من مجرى النهر. وقد أجريت مقارنة بين تركيزات الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم في عينات النباتات والحيوانات بما في ذلك السرطان والاوروبيان وقناديل البحر وأسماك القاع (مثل الداب والقويون والبلايس وسمك موسى) وسمك القد (مثل البيب وسمك القدر الأبيض) من المصب، والتركيزات في العينات من بحر الشمال في بلجيكا فيما يتجاوز مدخل المصب (Voorspoels *et al.*, 2003). وجرى تحديد ثمانية متجانسات الإثيرات ثنائية الفينيل المبرومة (هي BDE-28، BDE-47، BDE-99، BDE-100، BDE-153، BDE-154، BDE-183 and BDE-209). وكانت التركيزات الملاحظة في عينات المصب تزيد بمقدار ٣٠ مرة عن تلك التي رصدت في بحر الشمال البلجيكي مع زيادة المكونات صوب نهر انتويرب. وكانت التركيزات في بحر الشمال تتراوح بين ٠,٠٢ إلى ١,٥ ميكروغرام/كغ بالوزن المبلل في اللافقرات القاعية والقويون بين ٠,٠٦ و ٠,٩٤ ميكروغرام/كغ بالوزن المبلل في عضلات الأسماك وبين ٠,٨٤ و ١,٢٨ ميكروغرام/كغ بالوزن المبلل في كبد الأسماك. وكان المدى المقابل في العينات من المصب تتراوح بين ٠,٢ و ٣٠ و ٠,٠٨ و ٦,٩ و ١٥ إلى ٩٨٤ ميكروغرام/كغ وزن غير جاف على التوالي. وتبين أن معدل BDE-100/BDE-99 يعتمد اعتماداً كبيراً على الموقع والأنواع وربما يتصل بالاختلافات بين التمثيل الغذائي. وكانت قيمة هذا المعدل (١:٤) في الأوروبيان تماثل بدرجة كبيرة الأوروبيان في كل من بحر الشمال والمصب مما يعني أن هذه المتجانسات متوافرة أحياناً بسهولة وأن الأوروبيان يفتقر إلى القدرة على التمثيل الغذائي لأي من هذين المتجانسين. وكانت تركيزات BDE-47، على أساس وزن المادة الدهنية، تتراوح بين ٣ و ١٠٨ ميكروغرام/كغ بدون المادة الدهنية في العينات من بحر الشمال وبين ٨ و ١٥٥٠ ميكروغرام/كغ بوزن المادة الدهنية في

عينات المصّب. وكانت BDE-47 هي الأكثر وفرة من بين المتجانسات في جميع العينات حيث كانت تضم ٤٣ إلى ٧٥ في المائة من مجمل الإثيرات ثنائي الفينيل المبرومة.

وأجرى توماس وآخرون (٢٠٠٤) دراسة للتوازن بين المدخلات والمخرجات في الفقمة الرمادية اليافعة في الأسر. وكان يتم تغذيتها بنظام غذائي مكون من الرنجة لمدة ستة أشهر، وأجريت الدراسة خلال الأشهر الثلاثة الأخيرة من هذه الفترة. وأجرى تحليل الإثيرات ثنائية الفينيل المبرومة باستخدام GC-ECNIMS (القضاء على المخلفات السامة). ولوحظ ارتفاع الامتصاص المستمر (٨٩ - ٩٩ في المائة) بالنسبة لجميع متجانسات الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم موضع الدراسة (BDE-28، BDE-47، BDE-49، BDE-99، BDE-100، BDE-153، BDE-154 وBDE-209).

#### ٤-٣-٢ التعرض البشري

أظهرت الدراسات وعمليات التقييم والاستعراضات المشار إليها في هذا القسم أن المسارات الرئيسية للتعرض البشري هي الأغذية، ومن التعرض للأتربة في الهواء الداخلي في المنازل وأماكن العمل نتيجة للمستويات في المنتجات مثل الأثاث والأجهزة الكهربائية. وتعد الأسماك والمنتجات الزراعية هي المصادر الغذائية الرئيسية لمادة الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل للبشر، ولبن الأم للأطفال الرضع. وتعتبر الأسماك الدهنية من المناطق الملوثة مصدرا رئيسيا (Sjödin et al. 2003). ورصدت الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل في العديد من الأغذية (VKM 2005, Burniston et al. 2003 and Bocio et al. 2003) فضلا عن الأتربة في الأماكن المغلقة (Shoeb et al. 2004 وWilford et al. 2005). وقد أشار كل من (Huwe et al. 2005) و(VKM) إلى المستويات في الأغذية في الولايات المتحدة الأمريكية. وهناك العديد من عمليات تقييم المخاطر في الاتحاد الأوروبي والولايات المتحدة الأمريكية التي بحثت في تعرض البشر (VCCEP 2003, COT 2004, VKM 2005). وقد خلصت هذه العمليات إلى أن المعلومات المتوفرة عن الأخطار أو التعرض لا تكفي لتحديد طبيعة المخاطر بصورة وافية.

وقد يكون الغبار المترلي الداخلي مصدرا كبيرا حيث تحتوي الأثاث والسجاجيد والأجهزة على الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل وقد نوقش ذلك في القسم ١-١-٢. ومن غير الواضح ما هي أكبر المصادر، وقد تكون هناك اختلافات واسعة اعتمادا على نمط الحياة والنظام الغذائي.

وقد رصدت دراسات عديدة مستويات من الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل في رواسب الصرف الصحي (Matscheko et al. 2002, Fabrellas et al. 2004, Motche and Tanner 2004 and Sjödin et al. 2003, Hale 2002) وتعتبر رواسب الصرف الصحي إحدى المصارف الرئيسية لمركبات PBDE. ويمثل استخدام رواسب الصرف الصحي في الأراضي الزراعية أحد أسباب المستويات المرصودة لمادة الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل في المنتجات الغذائية. ويمكن أن يفسر ذلك المستويات المرصودة في الخضر والمحاصيل الجذرية في الدراسات التجريبية. وقد تكون المستويات في الأسماك والمحاصيل الجذرية مصدرا للتعرض للحيوانات المترلية مثل الدواجن والخنازير ومصدر الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم في منتجات اللحوم المخصصة للتغذية البشرية.

وأظهرت دراسة عالمية كندية أن الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل تنتشر على نطاق واسع في اللبن البشري في السكان في جميع أنحاء العالم (Ryan 2004). وتتوافر بيانات عن مستويات في أمصال الدم البشري والألبان في الولايات المتحدة الأمريكية وكندا والمكسيك واليابان وإقليم الاتحاد الأوروبي ومنطقة القطب الشمالي ودول اسكندناوة. وأظهر تحليل تفصيلي أجراه هايتس (٢٠٠٤) باستخدام البيانات المنشورة حتى منتصف عام ٢٠٠٣ أن مستويات المصل والألبان في

الولايات المتحدة الأمريكية كانت أعلى من تلك الموجودة في أوروبا - ٣٥ نانوغرام/غ مقابل ٢ نانوغرام/غ من وزن المحتوى الدهني - من المواد الدهنية، وأنها تتضاعف في المتوسط كل ٤-٦ سنوات. وكانت BDE-47 و BDE-99 المتحانسات الرئيسية المرصودة. ووجدت مستويات أعلى بشكل ملحوظ في سكان أمريكا الشمالية بوجه خاص، وتبين أن حوالي ٥ في المائة من السكان عامة يخضعون لتعرض أعلى. ويؤدي هذا إلى جانب تقديرات نصف العمر الفعال لمتحانسات إثير خماسي البروم ثنائي الفينيل في البشر، إلى القلق إزاء التأثيرات طويلة الأجل على صحة البشر (Thomsen et al, 2005 b).

وقد لوحظت زيادة في المستويات من ثمانينات القرن الماضي وحتى السنوات الأولى من ٢٠٠٠ في لبن الأم في السويد فضلاً عن الدم في ألمانيا والنرويج (Sjödin et al. 2003). وأجرت دراسة حديثة في السويد (Fängström et al. 2005) تقيماً للاتجاهات الزمنية لمركبات إثير ثنائي الفينيل متعدد البروم في لبن الأم في منطقة استكهولم. وكانت العينات المجمعة تغطي الفترة الزمنية ١٩٨٠ إلى ٢٠٠٤ مع التركيز على العينات من السنوات العشر الأخيرة. وقد وصلت تركيزات BDE-47، BDE-99، BDE-100 إلى ذروتها في منتصف تسعينات القرن الماضي، وتظهر الآن مستويات متناقصة بصورة واضحة. غير أن التركيزات مازالت أعلى بكثير مما كانت عليه في ١٩٨٠.

وكان الهدف من الدراسة الترويجية الأخيرة هو استكمال وتوسيع نطاق الدراسة السابقة بشأن الاتجاهات الزمنية للإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم في عينات الأمصال المجمعة الترويجية (Thomsen et al. 2005). وكانت هذه المستويات تقارن بالمستويات في العينات البشرية الأخرى التي أخذت من النرويج من أجل تجميع عرض عام لمدى تحمل الجسم لمادة الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم في السكان عموماً من ١٩٧٧ إلى ٢٠٠٤. وتتوافق الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم السبعة (BDE-28، BDE-47، BDE-99، BDE-100، BDE-153، BDE-154، BDE-183) في المصل المجموع من هذه الدراسة، بصورة دقيقة مع المستويات التي وجدت في دراسة سابقة أجراها نفس المؤلفين. وبصفة عامة، رؤي بالنسبة للفترات الزمنية المماثلة أن المستويات في لبن الأم تقل بعض الشيء عما كان في المصل إلا أن نفس الاتجاه العام قد لوحظ. ويؤكد ذلك أن أعباء الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم في الجسم في هذه المناطق قد ارتفعت بسرعة من ١٩٧٧ إلى نحو عام ١٩٩٧ إلا أنه يبدو الآن أنها قد استقرت بل حتى تناقصت. ويتوافق ذلك مع الاتجاهات التي لوحظت في لبن الأم في السويد بوصفها مؤشراً على الأوضاع الأوروبية إلا أنها قد لا تكون صحيحة بالنسبة للمستويات الملاحظة في أمريكا الشمالية وقد سبق أن تبين أن مستوى الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم يزيد بمقدار الضعف تقريباً في تجميع المصل من الأطفال الرضع حتى سن أربع سنوات بالمقارنة بتجميعات المصل من الأشخاص الأكبر سناً. وقد تأكدت هذه النتيجة في الدراسة الترويجية. غير أن الأطفال ما بين سن ٥ و ١٤ سنة أظهروا، في عام ٢٠٠٢، ارتفاعاً في مستويات الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم يزيد عما هو ملاحظ في متوسط البالغين.

وتتماثل تركيزات الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم المعاصرة بدرجة تدعو للغرابة في أوروبا وآسيا مع انخفاض متوسط القيم على أساس المادة الدهنية في جميع البلدان ووجود تباينات صغيرة نسبياً. ويختلف الوضع في أمريكا الشمالية اختلافاً كاملاً حيث كانت القيم الوسيطة في الدراسات الفردية في المدى ٢٠ - ٥٠ نانوغرام/غرام بوزن المادة الدهنية (Ryan 2004). غير أنه تبين، بالتوازي مع الفروق الإقليمية التي أشير إليها أعلاه بالنسبة للنباتات والحيوانات، أن المستويات في النسيج الدهني للصدر التي أخذت من نساء يعشن في منطقة خليج سان فرانسيسكو في ٢٠٠٠ تزيد بمقدار نقطتين عما ذكر في لبن الأم من السويد (Sjödin et al. 2003). وقد نشر جونسون - ريس تريو وآخرون (٢٠٠٥) دراسة حديثة عن

المستويات في الأنسجة الدهنية للإنسان في نيويورك. وأظهرت دراسة ضمت ٤٠ من الذكور و١٢ من الإناث من طائفة من الأعمار والأصول العرقية وجود اختلافات شاسعة في تركيزات الإثبات ثنائية الفينيل متعددة البروم في المادة الدهنية مع ارتفاع كبير في قيم المتوسط الحسابي عما هو موجود في القيم المتوسطة. وكان المتوسط الحسابي للتركيزات يبلغ ٢٩,٣ نانوغرام/غرام من المادة الدهنية BDE-47: و١٠,٣ نانوغرام/غرام من المادة الدهنية BDE-99 و١٢ نانوغرام/غرام من الدهون في BDE-100.

وتبين من فرز أولى للإثبات ثنائية الفينيل متعددة البروم في عينات البلازما واللبن من النساء المكسيكيات أن المستويات كانت أعلى بكثير من المستويات الأوروبية للإثبات ثنائية الفينيل متعددة البروم التي ذكرت حتى الآن (López *et al.* 2004). وكان المستوى الوسيط للإثبات ثنائية الفينيل متعددة البروم (مع استبعاد مادة BDE-209) في النساء المكسيكيات اللواتي يعشن في المناطق الحضرية تبلغ نحو ٢٠ نانوغرام/غرام بوزن المادة الدهنية في البلازما. وكانت المستويات في النساء اللاتي يعشن في المناطق الريفية في المكسيك مماثلة للنساء اللواتي يعشن في المناطق الريفية في السويد (لم ترصد مستويات BDE-209 إلا في النساء اللواتي يعشن في مدينة المكسيك).

ورصد ريان (٢٠٠٤) تبايناً كبيراً بين الأفراد في المستويات بالنسبة للسكان عموماً في دراسة من كندا. وكان مدى القيم يزيد بمقدار ثلاث نقاط من حيث الحجم حيث أظهر عدد قليل من القيم مستويات أعلى. وكانت المستويات التي رصدت في القطب الشمالي الكندي في دراسة ريان (٢٠٠٤) تتزايد. وأظهرت القيم في لبن الأم في جزر فارو نفس الاتجاه (Fing Strom *et al.* Wly).

وأظهرت دراستان في أستراليا أن مستويات الإثبات ثنائية الفينيل متعددة البروم في لبن الأم في أستراليا ومصل الدم تزيد عن تلك الموجودة في أوروبا إلا أنها تقل عن تلك الموجودة في أمريكا الشمالية (Harden *et al.* 2004 and 2005).

الجدول ٢-٦ البيانات بشأن المستويات الوسيطة لمادة الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل (BDE-99) بالنانوغرام/غرام (من وزن المادة الدهنية) في البشر من مختلف أنحاء العالم.

| البيانات | البلد/المنطقة              | المستويات | المراجع                      | السنة     | التعليقات  |
|----------|----------------------------|-----------|------------------------------|-----------|------------|
| الدم     | هولندا                     | 0.8       | Weiss <i>et al.</i> 2004     | غير مدونة |            |
| الدم     | النرويج                    | 1.0       | Thomsen <i>et al.</i> 2004   | 1999      |            |
| الدم     | المكسيك                    | 2.0       | López <i>et al.</i> 2004     | 2003      | سكان الحضر |
| الدم     | أستراليا                   | 2.3       | Harden <i>et al.</i> 2004    | 2003      |            |
| اللبن    | ألمانيا                    | 0.2       | Harden <i>et al.</i> 2004    | 2000      |            |
| اللبن    | السويد                     | 0.3       | Fängström <i>et al.</i> 2005 | 2003      | سكان الحضر |
| اللبن    | المكسيك                    | 0.6       | López <i>et al.</i> 2004     | 2003      | سكان الريف |
| اللبن    | السويد                     | 0.5       | López <i>et al.</i> 2004     | 2003      | سكان الريف |
| اللبن    | المملكة المتحدة            | 0.9       | Harden <i>et al.</i> 2004    | ?         | متوسط      |
| اللبن    | جزر فارو                   | 1.0       | Fängström <i>et al.</i> 2004 | 1999      | سكان الريف |
| اللبن    | أستراليا                   | 1.9       | Harden <i>et al.</i> 2005    | 2002/2003 |            |
| اللبن    | كندا                       | 4         | Ryan <i>et al.</i> 2002      | 2002      | سكان الريف |
| اللبن    | الولايات المتحدة الأمريكية | 28        | Päpke <i>et al.</i> 2001     | 2000      | سكان الحضر |

وعلى الرغم من أن نتائج الدراسات المهنية أقل صلة من البيانات البيئية، فإن هذه النتائج تبين السهولة التي تمتص بها الأجسام البشرية الإثبات ثنائية الفينيل متعددة البروم بين الموظفين المسؤولين عن إعادة تدوير الإلكترونيات (Sjødin et al., 1999)، وبين الفنيين المسؤولين عن إصلاح وصيانة الحاسبات (Jacobsson et al., 2002) فضلاً عن التربة والترسبات القريبة (Wang et al. 2005). كذلك فإن العمال في الصناعات العاملة في صنع الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل أو رغاوي البولي يوريثان والمعدات إلكترونية التي تحتويها يمكن أن يتعرضوا لمادة الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل وتوجد دراسات واسعة النطاق عن حالات التعرض هذه.

## ٢-٣-٥ إزالة البرومة

يتزايد الاهتمام لمصير الإثبات ثنائية الفينيل متعددة البروم في البيئة. وكان يتم تغذية أسماك الشبوط، في التجارب التي أشار إليها سيلتون وآخرون (٢٠٠٤) بالأغذية المحفوظة بمتجانسات الإثبات ثنائية الفينيل المبرومة المختلفة لمدة ٦٢ يوماً وجرى فحص الأنسجة والبراز. وقد تم إزالة برومة ما لا يقل عن  $9,5 \pm 0,8$  في المائة ١ من BDE-99 بالخفض في القناة الهضمية إلى BDE-47 (أي أقل بمقدار ذرة بروم) وامتصاصه في أنسجة الشبوط. كذلك تحدث إزالة ١٧ في المائة من برومة متجانس سباعي البروم BDE-183 بالخفض وتحويله إلى متجانس سداسي البروم. وأشار المؤلفون إلى أن حمولة الجسم من الإثبات ثنائية الفينيل متعددة البروم قد تعكس بهذه الطريقة الامتصاص من التعرض فضلاً عن إزالة برومة المتجانسات المبرومة بصورة عالية. ولوحظ وجود عمليات إزالة للبروم الميكروبية منتقاة في التجارب التي أشار إليها هي وآخرون (٢٠٠٦). وقد تكونت مركبات سباعي وثمانى الإثير ثنائي الفينيل متعددة البرومة في عمليات استنبات السلفوروسبيروم متعدد الفوران التي أضيفت إليها الإثير عشاري البروم ثنائي الفينيل إلا أن الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل لم تتعرض للهجوم في نظام مماثل. وأخفق استنبات لكائن بديل هو ديهالو كركوايد في مهاجمة مادة الإثير عشاري البروم ثنائي الفينيل إلا أن خليط من الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل تعرض لتغيرات واسعة النطاق حيث أنتج خليطاً من الإثير سباعي البروم عن طريق الإثبات ثنائي البروم ثنائي الفينيل التي تتضمن الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل وBDE-99. واسترعى المؤلفون الاهتمام إلى إمكانيات تحويل المتجانسات الأعلى في البيئة إلى متجانسات أكثر سمية مع عدد قليل من بدائل البروم. والمطلوب من الدراسات الإضافية، وبخاصة دراسات الرصد البيئي التي تركز على المتجانسات التي تمثل تفاعلات إزالة البرومة المصدر الرئيسي لها أن توضح دور إزالة البرومة لتحديد التركيبة النهائية لمتجانسات خماسي البروم ثنائي الفينيل في البيئة.

وقد رصدت مركبات الإثبات ثنائية الفينيل المبرومة الهيدروكسيلية (OH-BDEs) والتعرف عليها بوصفها عوامل التمثيل الغذائي في العديد من الأصناف بعد التعرض لمتجانسات الإثبات ثنائية الفينيل المبرومة نوعيه إلا أنه وجد أيضاً أنها تحدث كمنتج طبيعي في الإسفنج والمزقيات البحرية (Marsch et al. 2004). كما أشير أيضاً إلى مركبات BDEs الميثدوكسيلية (MeO-BDEs) باعتبارها منتجا طبيعيا موجود في الإسفنج الطبيعي والطحالب الخضراء. ويبدو أن منشأ هذه المواد قد يكون طبيعياً أو من صنع الإنسان أو كليهما معاً. وجرى تحديد تسعة OH-BDEs وستة MeO-BDEs في الدم في سالمون بحر البلطيق باستخدام معايير مركبة جديدة (Marsch et al., 2004). وجرى الاستعاضة عن جميع مركبات OH و MeO من BDEs بأربع أو خمس ذرات بروم، وكان لخمسة منها بديل من الكلور. وكان لأربعة عشرة مجموعة ميثوكس وهيدروكس حلت في هذا مكانها رابطة اورتو إلى الإثير ثنائي الفينيل. وتساند هياكل العديد من المركبات المنشأ الطبيعي وليس الذي من صنع الإنسان. غير أن واحداً على الأقل من OH-BDEs (4'-OH-BDE-49) التمثيل الأيضى

الهيدروكسيلية للمادة BDE-47. وأشار Meerts *et al.* (2001) إلى النشاط الاستروجيني لبعض الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم الهيدروكسيلية.

ويرد موجز للدراسات الأخرى المتعلقة بالتمثيل الغذائي للإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم في القسم ٢-٢-٢-١.

## ٢-٤ تقييم المخاطر لنهايات سلسلة التفاعل المثيرة للقلق

تشير القرائن حتى الآن إلى أن المتجانسين الرئيسيين لتركيبات الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل التقني وهما BDE-47 وBDE-99 قد يكونان أكثر سمية وتراكما أحياناً من متجانسات الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم الأخرى. ومع أن سمية هذه المركبات غير مفهومة على نحو جيد إلا أن بعض الدراسات بشأن الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل أظهرت سمية فيما يتعلق بالتكاثر وتأثيرات سمية عصبية للإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم مماثلة لتلك التي لوحظت في مركبات ثنائية الفينيل متعدد الكلور. وتعرض الأطفال للإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم يتسبب في مشاكل إنمائية دقيقة وإن كانت قابلة للقياس. ومن المفترض أن الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم تحدث اضطرابات في الغدد الصماء إلا أن نتائج البحوث شحيحة في هذا المجال (Siddiqi *et al.* 2003).

وعلى الرغم من أنه يتعين إجراء المزيد من الدراسات التي تتبع المبادئ التوجيهية المقبولة دولياً للقيام بعمليات تقييم كاملة للمخاطر المتعلقة بأوضاع الأطفال، تتوفر بيانات كافية لوضع موجز بيانات المخاطر الحالي.

ومن المسلم به أنه هذه الاستنتاجات تعتمد إلى حد ما على فحص الاستعراضات وليس على تحليل البيانات الأساسية، إلا أن الدراسات موضع الاستعراض اتبعت، بصفة عامة، البروتوكولات التجريبية المقبولة دولياً. ومع ذلك، لا توجد اختلافات كبيرة بين بعض النتائج المعلنة والتحليل اللاحقة مثل تلك الخاصة ببرنامج التقييم الكيميائي الطوعي في الأطفال في الولايات المتحدة الأمريكية (٢٠٠٥).

### ٢-٤-١ السمية البيئية

تبين الدراسات الحديثة أن التعرض لمادة BDE-47 يمكن أن يتسبب في منع النمو في مستعمرات الطحالب العالقة، وخفض ناتج التكاثر في العواقل الحيوانية (*Daphnia magna*) (Källqvist *et al.* 2006).

وأظهرت ورقة أعدها مؤخرًا تيم لارجي وآخرون (٢٠٠٦) وجود تأثيرات معاكسة على نمو الأطفال في التركيزات المنخفضة. غير أن سلسلة نهايات التفاعل التي تأثرت والمشار إليها في هذا التقرير (التعلم السلوكي) لا تعتبر عادة من سلاسل نهايات تفاعل تقييم المخاطر. ولم تتأثر السلاسل الأخرى التي ستكون مقبولة مثل النمو أو البقاء على قيد الحياة. تمكنت كندا من إجراء تحليل حاصل المخاطر (risk quotient) لكل متجانس من المتجانسات ضمّ حالات التعرض المعروفة أو المحتملة إلى الآثار الضارة المحتملة وفي أبسط صورته، يمكن لحاصل المخاطر أن يوصف بهذا الحاصل:

حاصل المخاطر = قيمة التعرض المرجعية

قيمة السمية المرجعية

ومن المعتاد استخدام القيم المتحفظة لأجل تسليط الضوء على أسوأ حالة.

وأشارت التقديرات إلى حالات التعرض في بيئة مصادر الانبعاثات بما فيها المناطق التي يجري فيها الصرف الحضري (مستهلكو الحياة البرية) وعند مرفق معالجة البوليمرات (الكائنات القاعية). وتم تطبيق عوامل تعديل قدرها ١٠٠ - ١٠٠٠ ضعف لقيم السمية الحرجة لكي تعكس تقديراً استقرائياً من الظروف المختبرية إلى الظروف الميدانية، على المستوى الداخلي للأنواع والتنوعات داخل الأنواع من حيث الحساسية، ولأن المركبات تراكمية أحيائياً وثابتة.

إن قيمة مكافئ متحصل المخاطر التي تزيد على ١ < تعني احتمال وقوع تأثيرات ضارة، بينما المتحصل الأقل من ١ > يعني ضمناً عدم وجود خطر على الكائنات. والنتائج الكندية الواردة في الجدول ٢-٧ تنهض جزئياً على البيانات العملية الكندية وجزئياً على بديلة من مصادر سويدية وأمريكية.

الجدول ٢-٧ قيم مكافئ متحصل المخاطر بالنسبة لإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل (البيئة كندا، ٢٠٠٦، جدول الحياة البرية الكندية ٨).

| المنتج التجاري | كائنات بحرية سطحية | كائنات المياه العميقة | كائنات التربة | مستهلكو الحياة البرية |
|----------------|--------------------|-----------------------|---------------|-----------------------|
| PentaBDE       | ٣-١٠×٤             | ٤٥,٢                  | ٠,٢٦-٠,١٣     | ١٤٩                   |

وتعكس هذه القيم التراكم الأحيائي لإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل الذي يتسبب في تعرض الكائنات الأعلى في السلسلة الأغذية لقدر أكبر من المخاطر.

## ٢-٤-٢ التأثيرات في الثدييات

اعتمد دارنيرد (٢٠٠٣)، في مقال استعراض بشأن التأثيرات السمية لمثبطات اللهب، على طائفة من الدراسات الأساسية لكي يصل إلى نتيجة مفادها أن التعرض للإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم يتسبب في حدوث تأثيرات معاكسة في النماذج التجريبية الحية، وق شوهدت تأثيرات مختلفة اعتماداً على نوعية المنتج تحدث عند مستويات مختلفة من الجرعات. وعموماً، تتسبب منتجات الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل التقنية في حدوث تأثيرات في الجرعات المنخفضة. والتأثيرات الرئيسية لهذه المادة هي تلك المتعلقة بنمو السلوك العصبي فضلاً عن هرمونات الغدة الدرقية في الذرية وإن كان ذلك بدرجة أقل بعض الشيء من الحساسية (من ٠,٦ إلى ٠,٨، و٦ إلى ١٠ مغ/كغ من وزن الجسم على التوالي) (Darnerud 2003). ويلاحظ أن بعض البيانات الواردة في الجدول ٢-٨ تبين مستويات أقل من ذلك. ويتوافر المزيد من المعلومات الأحدث عهداً وخاصة بالنسبة لأمريكا الشمالية في برينبوم وستاسكال (٢٠٠٤).

وقد جمعت دراسة مجهرية للدهن وعينات من الدم من صغار الفقمة الرمادية الخاضعة للفظام وشبابها خلال ١٩٩٨ و١٩٩٩ (Hall et al., 2003). وجرت دراسة أربعة وخمسين من صغار الفقمة بعد الفظام وخمسة وخمسين من اليافعين منها البالغة خمس سنوات (ثلاثة عشر منها من الصغار بعد الفظام التي أعيد أسرها)، وبلغ متوسط تركيزات مجمل الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم (١٤ متجانساً) ١٧، و٤٦، ميكروغرام/كغ بوزن المحتوى الدهني في جلد الصغار والأنواع اليافعة على التوالي. وبينت الدراسة أن مستويات هرمون الغدة الدرقية في الفقمة الرمادية خلال السنة الأولى من عمرها كانت كبيرة وموجبة فيما يتعلق بتركيزات مجمل الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم في الجلد بعد مراعاة تأثيرات المتغيرات المثيرة للخلط المحتملة. غير أن هذا الربط لا يعتبر، في حد ذاته، دليلاً كافياً على العلاقات السببية إلا أنه يتفق مع الافتراض بأن هذه المركبات يمكن أن تعمل كعناصر مثيرة لاضطرابات الغدد الصماء في صغار الفقمة الرمادية.

ولخص بارنرود (٢٠٠٣) في الاستعراض الذي أجراه إلى أنه بالنسبة لمركبات PentaBDE، فإن التأثيرات الرئيسية بين الدراسات المتاحة هي السمية العصبية للنمو، دوغما تغير على الرغم من أن ذلك يتم عموماً عند الجرعات الأعلى بعض الشيء، من توازن هرمونات الغدة الدرقية. وفيما يتعلق بالسمية العصبية في الفئران، لا يمكن تحديد أية آلية واضحة إلا أنه جرت مناقشة تأثيرات مركبات الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل على كل من اضطرابات هرمونات الغدة الدرقية، وبصورة مباشرة على إرسال إشارات إلى المخ. فعلى سبيل المثال، كانت مركبات الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل قادرة على استحثاث موت الخلية في الخلايا الحبيبية للدماغ في حالة الاستنابت (Reistad *et al.*, 2002, Reistad and Mariussen 2005). ويمكن وضع قيمة أدنى مستوى ملاحظ للتأثير في الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل عند ٠,٦ - ٠,٨ مغ/كغ من وزن الجسم استناداً إلى أكثر التأثيرات الملاحظة حساسية، والتأثيرات السلوكية العصبية خلال النمو المبكر (Darnerud 2003). على الرغم من أنه ليس من مهمة لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة أن تضع مستوى تنظيمياً للتأثير حيث أن وضع هذا المستوى يتطلب توفير طائفة أوسع من البيانات.

وقد أشير في تقييم للمخاطر أجرته لجنة سلامة الأغذية في النرويج (VKM 2005) إلى التأثيرات السمية التالية لمادة BDE-99 أو مستحضر الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل التقني: السمية العصبية، التأثيرات على نمو السلوك العصبي، التأثيرات على نظام هرمونات الغدة الدرقية والتغيرات في باثولوجيا الأنسجة في الكبد.

الجدول ٢-٨ عرض عام لمستوى التأثير غير الملاحظ وأدنى مستوى تأثير غير ملاحظ (NOEL) بعد إعطاء متجانس BDE-99 أو مستحضرات الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل التجارية بالفم. القيم المدونة بالخط الغامق هي أدنى مستوى ملاحظ للتأثير أو مستوى التأثير غير الملاحظ المرصود\*.

| المرجع   | الأنواع          | السلسلة النهائية للفاعل                           | أدنى مستوى للتأثير الملاحظ مغ/كغ يوميا | مستوى انعدام التأثير غير الملاحظ مغ/كغ يوميا | الجرعة                              | المدة      | PENTABDE |
|--|------------------|---|--|--|-------------------------------------|------------|----------|
| Eriksson <i>et al.</i> 2001                          | الفئران          | سلوك السمية العصبية من مستوى النشاط الآلي والتعلم | ٠,٨                                    | غير محدد                                     | ٠,٨ أو ١٢,٠ مغ/كغ                   | جرعة واحدة | BDE-99   |
| Branchi <i>et al.</i> 2002                           | الفئران          | سلوك النمو والسمية العصبية - نشاط متزايد          | ٠,٦                                    | غير محدد                                     | ٠,٦ أو ٣٠ مغ/كغ                     | جرعة واحدة | BDE-99   |
| Viberg <i>et al.</i> 2004<br>Sand <i>et al.</i> 2004 | الفئران          | سلوك النمو والسمية العصبية                        | ٠,٨                                    | ٠,٤  | ٨,٠، ٤,٠، ٠,٠٨، ٠,٠٤، ١٦ ملغم/كغم   | جرعة واحدة | BDE-99   |
| Kuriyama <i>et al.</i> 2005                          | جرذان<br>جيل F1. | سلوك النمو والسمية العصبية - نشاط متزايد          | ٠,٠٦                                   | غير محدد                                     | ٠,٠٣، ٠,٠٠٦ ملغم/كغم للإناث الحوامل | جرعة واحدة | BDE-99   |
| Kuriyama <i>et al.</i> 2005                          | جرذان<br>جيل F1. | انخفاض حجم الخصية وعدد الحيوانات المنوية          | ٠,٣                                    | ٠,٠٦   | ٠,٠٣، ٠,٠٠٦ ملغم/كغم للإناث الحوامل | جرعة واحدة | BDE-99   |

| المرجع                                       | الأصناف         | السلسلة النهائية للتفاعل  | أدنى مستوى للتأثير الملاحظ<br>مغ/كغ يوميا | مستوى انعدام التأثير غير الملاحظ مغ/كغ يوميا | الجرعة   | المدة       | PENTABDE           |
|--|-----------------|---|---|--|--|-------------|--------------------|
| مؤسسة المواد الكيميائية للبحيرات العظمى ١٩٨٥ | جرذان           | النمو، المتحصل الغذائي<br>مبحث الدم<br>بأثولوجيا الأنسجة<br>والكيمياء الإكلينيكية | غير محدد                                  | ١  | ٠,١، ٠,٠٥، ٠,٠١،<br>١,٠، ٠,٠٥ ملغم/كغم/<br>يوماً | ٣٠<br>يوماً | خليط بيتا<br>DE-71 |
| Stoker et al. 2004                           | ذكور<br>الجرذان | وزن الكبد، البلوغ<br>والتكاثر وإنزيمات<br>الكبد وخفض - T <sub>4</sub>             | ٣٠  | ٣  | صفر، ٣، ٣٠ أو ٦٠<br>ملغم/كغم/يوماً               | ٣٠<br>يوماً | خليط بيتا<br>DE-71 |
| Stoker et al. 2004                           | إناث<br>الجرذان | خفض - T <sub>4</sub>  | ٣   | غير محدد                                     | صفر، ٣، ٣٠ أو ٦٠<br>ملغم/كغم/يوماً               | ٣٠<br>يوماً | خليط بيتا<br>DE-71 |
| Zhou et al. 2002,<br>Zhou et al. 2001        | جرذان<br>حوامل  | خفض - T <sub>4</sub><br>إنزيمات الكبد   | ١٠  | ١  | صفر، ١، ١٠ أو ٣٠<br>ملغم/كغم/يوماً               | ٣٥<br>يوماً | خليط بيتا<br>DE-71 |
| Carlson 1980                                 | جرذان           | إنزيمات الكبد   | ٠,٤٤                                      | غير محدد                                     | صفر، ٠,٤٤<br>ملغم/كغم/يوماً                      | ٩٠<br>يوماً | خليط بيتا<br>DE-71 |
| مؤسسة المواد الكيميائية للبحيرات العظمى ١٩٨٤ | جرذان           | تضخم الخلايا الكبدية<br>والجين وتكثر نسجي   | ١٠-٢                                      | صفر-٢<br>-2١                                 | صفر، ٢، ١٠ أو ١٠٠<br>ملغم/كغم/يوماً              | ٩٠<br>يوماً | خليط بيتا<br>DE-71 |

\* معظم الدراسات تتسق مع المبادئ التوجيهية للاختبار لدى منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، وبالنسبة لتلك التي تتسق معها فقد تم تقييم نوعية الدراسة ووجد أنها وافية.

ويؤخر مزيج الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم المعروف باسم DE-71 (٧١ في المائة بروم الحجم ويحتوي على BDE-47 وBDE-99 و100 و153 و159) من البلوغ ويكبت نمو الأنسجة المعتمدة على الاندروجين في ذكور جرذان ويستار بعد التعرض السابق على البلوغ. وتشير هذه التأثيرات إلى أن مادة DE-71 أما تستحث أيضاً هورمون الاسترويد أو تعمل كمضاد لتلقي الاندروجين (Stoker et al. 2005).

وأجرى تالسنيس وآخرون (٢٠٠٥) تقيماً لتأثيرات التركيزات ذات الصلابة بالبيئة (الجرعات المنخفضة) لمادة BDE-99 في جهاز التكاثر الأنثوي في الجرذان. وقد لوحظت تغييرات هيكلية فائقة تماثل مع المورلوجيا المتقدرة المتغيرة في مبايض ذرية F1. ولم تلاحظ أية تغييرات مهمة من الناحية الإحصائية في عدد حويصلات المبايض. ورصدت حالات تشوه خارجية وتعلق بالمهيكل العظمي في ذرية (F2) من أنثيين مختلفين (F1) مع التعرض خلال النمو المبكر لكمية تبلغ ٣٠٠ ميكروغرام من BDE-99/كغ بوزن الجسم. وأسفر التعرض لمادة BDE-99 عن تغييرات في جهاز التكاثر الأنثوي في الجيل F1 كانت واضحة في مرحلة البلوغ.

وأدى تعرض الرحم لجرعة منخفضة وحيدة من BDE-99 إلى إحداث اضطراب في نمو السلوك العصبي والتسبب في تأثيرات دائمة في جهاز التكاثر في ذكور الجرذان كانت واضحة في مرحلة البلوغ (Kuriyama et al. 2005). وجرى في هذه الدراسة أيضاً تقييم تأثيرات التعرض في فترة النمو لمادة BDE-99 على مستويات النشاط الحركي القاعدي للشباب والصحة التناسلية للذكور البالغين. وتسبب التعرض لجرعات منخفضة من BDE-99 خلال النمو في حدوث نشاط زائد

في الذرية عند كل من النقاط الزمنية (٣٦ و ٧١ يوماً بعد الولادة) وإعاقاة دائمة لتكون المني من خلال خفض أعداد المني والنطف. وكانت الجرعات المستخدمة في هذه الدراسة وهي ٦٠ و ٣٠٠ ميكروغرام/كغ بوزن الجسم تتعلق بمستويات تعرض البشر التي تبلغ تقريبا ٦ و ٢٦ مرة على التوالي، وهو ما يزيد عن أعلى مستوى مبلغ عنه في الأنسجة الدهنية للصدر في البشر. وهذه هي أدنى جرعة من الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم أبلغ حتى الآن عن أهما تنطوي على تأثيرات سمية حية في القوارض والتي تؤيد الافتراض بأن من الضروري تشجيع دراسات الجرعة المنخفضة على تحديد مخاطر الملوثات العضوية الثابتة. وتبين الدراسة التي أجراها فينتريج وآخرون (٢٠٠٤) أن تعرض الرضع لمادة BDE-99 يمكن أن يستحث التأثيرات السمية العصبية على النمو مثل التغييرات في السلوك التلقائي (النشاط الزائد)، وهي التأثيرات ذات الصلة بالاستجابة للجرعة وتتفاقم بتقدم العمر. ويلاحظ حدوث تغييرات في فئران C57/B1 من الجنسين. وقد لوحظ السلوك التلقائي (الحركة والتربية ومجموع النشاط) في فئران عمرها شهرين وخمس وثمانية أشهر.

### ٢-٤-٣ السمية في البشر

أجريت عمليات تقييم عديدة للمخاطر في الاتحاد الأوروبي والولايات المتحدة. وقد قيدت الاستنتاجات في عمليات تقييم المخاطر بنقص المعارف الكافية عن سمية الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل للتمكن من إجراء تقييم للمخاطر التي يتعرض لها البشر (COT 2004, VKM 2005 and VCCEP 2003). وتفتقر الأهمية السمية للتأثيرات المرصودة بالنسبة للبشر في حيوانات المختبرات إلى الوضوح. ولا تتوافر بعد معارف كافية عن آليات وفترة نصف العمر لمادة الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل وتمثيلها الأيضي في حيوانات المختبرات وفي البشر (VKM 2005).

وتتمثل النتيجة في تقييم المخاطر الذي أجرته لجنة سلامة الأغذية في النرويج في أن التعرض من خلال الأغذية ولبن الأم يعتبر أقل بكثير من مستوى التأثيرات غير الملاحظة الذي شوهد في ثدييات المختبرات (VKM 2005). ومن المعتقد أن التعرض لفترة طويلة لجرعات منخفضة من الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل يمكن أن يتسبب في أضرار بالصحة بالنظر إلى أن هذه المادة تتراكم في الجسم البشري. ولما كانت فترة نصف العمر لمادة الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل في البشر غير معروفة، فإن من المتعذر اليوم التوصل إلى نتيجة بشأن تأثيرات التعرض طويل الأجل. ويسري ذلك حتى على الوضع في الولايات المتحدة الأمريكية حيث قد تزيد المستويات بنحو ١٠ مرات إلى ٢٠ مرة عن تلك المشاهدة في أوروبا، إلا أن هناك نقصا في خصائص قوة الأثر الصيدلانية والسمية والتعرض وغير ذلك من البيانات الرئيسية.

غير أن الفئات المعرضة قد تكون النساء الحوامل والأجنة والرضع نتيجة للتأثيرات على توازن هورمون الغدة الدرقية، ونمو الجهاز العصبي المركزي في الأجنة. وتمثل عملية المحافظة على توازن هورمون الغدة الدرقية أثناء فترة الحمل مشكلة فسيولوجية. وتعتبر فئة الأجنة والرضع معرضة بصورة خاصة لانخفاض مستويات هورمون الغدة الدرقية (VKM 2005). ويتعرض الرضع لمادة الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل من خلال النظم الفيزيائية للبن الأم نظرا لان هذه المادة تميل للانجذاب للدهون وتتراكم في اللبن (VKM 2005).

### ٣ - تجميع المعلومات

#### ٣-١ موجز

يستوفي الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل جميع معايير الفرز الواردة في المرفق دال وترد التفاصيل (لأغراض اكتمال العرض) في الجدول ٣-٢ أدناه.

وقد لوحظ، في ظل عدم توافر ضوابط الإنتاج أن المستويات التي رصدت في البشر والأنواع الأخرى والبيئة تزداد بشدة، وأن هذه الزيادة قد لوحظت في المواقع النائية فضلا عن تلك القريبة من مواقع الإنتاج والاستخدام. ففي الولايات المتحدة الأمريكية حيث كان استخدام الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل مرتفعا حتى وقت قريب وحيث مازالت متبقية في بعض المواد مثل رغاوي البولي يوريثان المتضمن في المنتجات الاستهلاكية، حدث تراكم في أنسجة البشر. وتدخل هذه المادة الموجودة في التربة أو الرواسب بسهولة في سلسلة الأغذية وتتراكم أحيائياً في الأنسجة الدهنية للضواري الراقية بما في ذلك البشر.

وهناك دراسات للسمية ذات شأن تبين التأثيرات على النمو العصبي في الحيوانات عند المستويات المنخفضة في الأنسجة المتصلة بالمستويات الملاحظة في السكان. وتظل هذه الأعباء على الجسم موضع استعراض دقيق.

وقد اختتمت مؤخرا هيئة البيئة الكندية (٢٠٠٦) تقييماً لتأثير الإثيرات ثنائية الفينيل متعددة البروم على البيئة حيث أخذت في الاعتبار الدراسات الرئيسية وخطوط القرائن التي تؤيد الاستنتاج الذي يفيد بأن هذه المواد التجارية التي تدخل البيئة لها أو قد يكون لها تأثيرات ضارة مباشرة أو بعيدة المدى على البيئة أو تنوعها البيولوجي.

#### ٤ - بيان ختامي

وإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري (C-PentaBDE) هو مزيج تركيبى من أصل اصطناعي لا يوجد في الطبيعة. ومن ثم يمكن الخلوص إلى أن وجود مكونات سلفونات الأوكتان المشبع بالفلور (PFOS) في البيئة يحدث نتيجة لأنشطة اصطناعية. ولا بد أن الانتقال بعيد المدى هو المسؤول عن وجوده في بعض المناطق مثل المنطقة القطبية، بعيداً عن مواقع إنتاجه وإطلاقه في البيئة. ويتحلل إثير خماسي البروم ثنائي الفينيل ببطء في البيئة ويمكن أن يتراكم ويتضخم أحيائياً في الثدييات وفي الطيور الآكلة للأسماك.

وأدى التخلص التدريجي من إنتاج إثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري واستخدامه إلى تقليل استخدامه، غير أن الكثير من المواد المستخدمة، ومنها رغاوي البولي يوريثان واللدائن في المعدات الإلكترونية تحتوي على إثير خماسي البروم ثنائي الفينيل الذي يطلق ببطء في البيئة. وتتسارع وتيرة هذا الإطلاق في نهاية عمر مثل هذه المواد وبخاصة أثناء عمليات الاستعادة وإعادة التدوير.

وعلى الرغم من أن مستويات إثير خماسي البروم ثنائي الفينيل في دم البشر ولبن المرضعات، وفي أنواع بيئية أخرى، تنخفض في أوروبا، فإنها آخذة في التزايد في أمريكا الشمالية ومنطقة القطب الشمالي.

وبناء على المعلومات الواردة في بيان المخاطر هذا، فإن إثير خماسي البروم ثنائي الفينيل - التجاري، بالنظر إلى خصائص مكوناته، يحتمل، نتيجة لانتقاله طويل المدى في البيئة وسميته الأكيدة بالنسبة لطائفة من الأنواع غير البشرية، أن يتسبب في تأثيرات ضارة بصحة البشر والبيئة، الأمر الذي يبرر اتخاذ إجراءً عالمياً بشأنه.

- Agrell, C., ter Schure, A.F.H., Sveder, J., Bokenstrand, A., Larsson, P. and Zegers, B.N. 2004. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) at a solid waste incineration plant. I: atmospheric concentrations. *Atmos. Environ.* 38: 5139-3148.
- Alaee, M., Luross, M.J., Whittle, M.D. and Sergeant D.B. 2002. Bioaccumulation of polybrominated diphenyl ethers in the Lake Ontario pelagic food web. *Organohalogen Compounds* 57: 427-430.
- Alaee, M., Arias, P., Sjödin, A. and Bergman, Å. 2003. An overview of commercially used brominated flame retardants, their applications, their use patterns in different countries/regions and possible modes of releases. *Env. Int.* 29: 683-689.
- AMAP Assessment 2002: Persistent organic pollutants in the Arctic. Arctic monitoring and assessment program, Oslo 2004.
- AMAP 2005. Fact sheet: Brominated flame retardants in the Arctic. <http://www.amap.no>
- Ballschmiter, K., Mennel, A. and Buyten, J. 1993. Long-chain Alkyl Polysiloxanes as Non-Polar Stationary Phases in Capillary Gas Chromatography, *Fresenius' J. Anal. Chem.* 346: 396-402.
- Birnbaum, L., Staskal, D.F. and Diliberto, J.J. 2003. Health effects of polybrominated dibenzo-*p*-dioxins (PBDDs) and dibenzofurans (PBDFs). *Environ. Int.* 29: 855-860.
- Birnbaum, L. And Staskal, D.F. 2004. Brominated flame retardants: cause for concern? *Environ. Health Perspectives.* 112: 9-17.
- Bocio, A., Llobet, J.M., Domingo, J.L., Corbella, J., Teixidó, A. and Casas C. 2003. J. Agric. Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in Foodstuffs: Human Exposure through the Diet. *Food Chem.* 51: 3191 - 3195; (Article) DOI: 10.1021/jf0340916
- Branchi, I., Alleva, E. and Costa, L.G. 2002. Effects of perinatal exposure to a polybrominated diphenyl ether (PBDE-99) on mouse neurobehavioral development. *Neurotoxicology* 23:375-84.
- Broman, D., Balk, L., Zebühr, Y. and Warman K. 2001. Miljöövervakning i Stockholmskommun Saltsjön och Mälaren. KEMI Slutrapport: Provtagningsåren 96/97, 97/98 och 98/99. Laboratoriet för akvatisk ekotoxikologi, ITM, Stockholms universitet samt Miljölaboratoriet i Nyköping.
- BSEF, Brominated Science and Environmental Forum. 2001. Major brominated flame retardants volume estimates. Total market demand by region 2001. 21 January 2003. [www.bsef.com](http://www.bsef.com).
- BSEF 2006. Information provided by the BSEF in July 2006. Figures for 2004 and 2005 will be forthcoming.
- Burniston, D.A., Symons, R.K., Croft, M., Trout, M. and Korth, W. 2003. Determination of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in Australian pig fat. *Organohalogen Compounds, Volumes 60-65 (Dioxin 2003)* Boston, MA.
- Burreau, S., Broman, D. and Zebühr Y. 1999. Biomagnification quantification of PBDEs in fish using stable nitrogen isotopes. *Organohalogen Compounds* 40: 363 - 366.
- Burreau, S., Zebühr, Y., Ishaq, R. and Broman D., 2000. Comparison of biomagnification of PBDEs in food chains from the Baltic Sea and the Northern Atlantic Sea. *Organohalogen Compounds* 47: 253-255.
- Burreau, S., Zebühr, Y., Broman, D. and Ishaq, R. 2004. Biomagnification of polychlorinated biphenyls (PCBs) and polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) studies in pike (*Esox lucius*), perch (*Perca fluviatilis*) and roach (*Rutilus rutilus*) from the Baltic Sea. *Chemosphere* 55: 1043-1052.

- Butt, C.M., Diamond, M.L., Truong, J., Ikonomou, M.G. and ter Schure, A. 2004. A Spatial Distribution of Polybrominated Diphenyl Ethers in Southern Ontario as Measured in Indoor and Outdoor Window Organic Films. *Environ. Sci. Technol.* 38: 724-731.
- Carlson, G.P. 1980. Induction of xenobiotic metabolism in rats by brominated diphenyl ethers administered for 90 days. *Toxicol. Lett.* 6:207-12.
- Christensen, J.H., Glasius, M., Pécseli, M., Platz, J. and Pritzl, G. 2002. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in marine fish and blue mussels from southern Greenland. *Chemosphere* 47: 631-638.
- CITI. 2000. The bioaccumulation of compound S512 by carp. Chemical Biotesting Center, Chemicals Inspection and Testing Institute, Tokyo. As cited in: Risk Assessment of Diphenyl Ether, Pentabromoderivative, Commission of the European Communities, 2000.
- Committee on toxicity of chemicals in food consumer products and the environment. COT statement on brominated flame retardants in fish from Skerne-Tees rivers system. 2004.  
<http://www.food.gov.k/multimedia/pdfs/bfrstatement.pdf>
- Covaci, A., Gheorghe, A., Steen Redeker, E., Blust, R. and Schepens, P. 2002a. Distribution of organochlorine and organobromine pollutants in two sediment cores from the Scheldt estuary (Belgium). *Organohalogen Compounds* 57: 239-242.
- Covaci, A., Van de Vijver, K., DeCoen, W., Das, K., Bouquegneau, J.M., Blust, R. and Schepens, P. 2002b. Determination of organohalogenated contaminants in liver of harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) stranded on the Belgian North Sea coast. *Mar. Pollut. Bull.* 44: 1157-1165.
- Danish EPA. 1999. Brominated flame retardants. Substance flow analysis and assessment of alternatives.
- Darnerud, P.O. 2003. Toxic effects of brominated flame retardants in man and wildlife. *Environ. Int.* 29: 841-853.
- Darnerud, P.O., Aune, M., Atuma, S., Becker, W., Bjerselius, R., Cnattingius, S. and Glynn, A. 2002. Time trend of polybrominated diphenyl ether (PBDE) levels in breast milk from Uppsala, Sweden, 1996-2001. *Organohalogen Compd.* 58: 233-236.
- de Wit, C., Alae, M. and Muir, D. 2004. Brominated flame retardants in the Arctic – an overview of spatial and temporal trends. *Organohalogen Compounds* 66: 3764-3769.
- D'Silva, K., Thompson, H., Fernandes, A. and Duff, M. 2004. PBDEs in Heron Adipose Tissue and Eggs from the United Kingdom. Abstract. BFR 2004.
- Ebert, J. and Bahadir, M. 2003. Formation of PBDD/F from flame retarded plastic materials under thermal stress. *Environ. Int.* 29: 711-716.
- EMEP. 2004. New substances: Model assessment of potential for long-range transboundary atmospheric transport and persistence of PentaBDE. EMEP contribution to the preparatory work for the review of the CLRTAP protocol on POPs. Information note 10/2004.
- Environment Canada. 2006. Ecological Screening Assessment Report on Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs). January 2006.
- Eriksson, P., Jakobsson, E. and Fredriksson, A. 2001. Brominated flame retardants: a novel class of developmental neurotoxicants in our environment? *Environmental Health Perspectives* 109: 903-8.
- EU. 2000. Risk Assessment of Diphenyl Ether, Pentabromoderivative (Pentabromodiphenyl Ether). CAS Number: 32534-81-9, EINECS Number: 251-084-2. Final Report of August 2000, Commission of the European Communities. Rapporteur: United Kingdom.

Fabrellas, B., Larrazabal, D., Martinez, M.A., Eljarrat, E. and Barceló, D. 2004. Presence of polybrominated diphenyl ethers in Spanish sewage sludges: important contribution of deca-BDE. *Organohalogen Compounds*. 66: 3755-3760.

Fängström, B., Strid, A., Athanassiadis, I., Grandjean, P., Wiehe, P. and Bergman Å. 2004. A retrospective study of PBDEs in human milk from the Faroe Islands. The third international workshop on brominated flame retardants, BFR 2004.

Fängström, B., Strid, A. and Bergman, Å. 2005. Rapport til Naturvårdsverket för projektet "Analys av polybromerade difenyletrar (PBDE) och hexabromcyklododekan (HBCDD) i human mjölk från Stockholm – en tidstrend studie. (Dnr 721-2653-05Mm) Stockholm 2005-11-23.

Fjeld E., Mariussen, M., Strand-Andersen, M., Hjerpset, M. og Schlabach M. 2003. Bioakkumulering og fordeling av polybromerte difenyletere i norske innsjøer. NFRs program for forurensninger: kilder, spredning, effekter og tiltak (ProFO). Foredrag, forskerseminar 15. okt. 2003, Olavsgård hotell.

Fjeld, E., Schlabach, M., Berge, J.A., Eggen, T., Snilsberg, P., Källberg, G., Rognerud, S., Enge, E.K., Borgen, A. and Gundersen, H. 2004. Kartlegging av utvalgte nye organiske miljøgifter – bromerte flammehemmere, klorerte paraffiner, bisfenol A og triclosan (Screening of selected new organic contaminants – brominated flame retardants, chlorinated paraffins, bisphenol-A and triclosan). NIVA-rapport 4809-2004, Oslo. (SFT: TA-2006). 106 sider.

Fjeld, E. et al. 2005. Screening of selected new organic contaminants 2004. Brominated flame retrardants, perflourated alkylated substances, irgarol, diuron, BHT and dicofol. NIVA-report 5011-2005, Oslo, pp. 97.

Fredonia Group. 2005. Specialty Plastic Additives to 2009. Study # 1961. Available for a fee from [www.fredonia.ecnext.com](http://www.fredonia.ecnext.com) (accessed July 2006).

Gabrielsen, G.W., Knudsen, L.B., Verreault, J., Push, K., Muir, D.C. and Letcher, J. 2004. Halogenated organic contaminants and metabolites in blood and adipose tissues of polar bears (*Ursus maritimus*) from Svalbard. SFT-report 915/2004. [www.sft.no](http://www.sft.no)

Geyer, H. J., Schramm, K.W., Darnerud, P.O., Aune, M., Henkelmann, B., Lenoir, D., Schmid, P. and McDonald, T.A., 2004. Terminal elimination half-lives of the brominated flame retardants TBBPA, HBCD and lower brominated PBDEs in humans. *Organohalogen compounds* 66:3820-3825.

Gouin, T., Thomas, G.O., Cousins, I., Barber, J., Mackay, D. and Jones, K.C. 2002. Air-Surface Exchange of Polybrominated Diphenyl Ethers and Polychlorobiphenyls. *Environ. Sci. Technol.* 36: 1426-1434.

Gouin, T. and Harner, T. 2003. Modelling the Environmental Fate of the PBDEs. *Environment International*. 29:717-724.

Great Lakes Chemical Corporation (1984). 90-day dietary study in rats with pentabromodiphenyl oxide (DE-71). Final report. 1984. Report No.: Project No. WIL-12011, WIL Research Laboratories, Inc.

Hale, R.C., La Guardia, M.J., Harvey, E.P. and Mainor, M. 2002. Potential role of fireretardant-treated polyurethane foam as a source of brominated diphenyl ethers to the US environment. *Chemosphere*. 46: 729-735.

Hall, A.J., Kalantzi, O.I. and Thomas, G.O. 2003. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in grey seals during their first year of life – are they thyroid hormone endocrine disrupters ? *Environmental Pollution* 126: 29-37.

Harden, F.A, Toms, L.M.L, Ryan, J.J. and Mueller, J. F. 2004. Determination of the levels of polybrominated diphenylethers (PBDEs) in pooled blood sera obtained from Australians aged 31-45 years. In: Proceedings of the Third International Workshop on Brominated Flame Retardants, June 6-9 2004, Toronto, Canada: 59-62

Harden, F., Müller, J. and Toms, L. 2005, Organochlorine Pesticides (OCPs) and Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in the Australian Population: Levels in Human Milk, Environment Protection and Heritage Council of Australia and New Zealand [http://www.ephc.gov.au/pdf/EPHC/OCP\\_PBDE\\_human\\_milk\\_jan%202005.pdf](http://www.ephc.gov.au/pdf/EPHC/OCP_PBDE_human_milk_jan%202005.pdf)

- Harner, T., Ikonomou, M., Shoeib, M., Stern, G. and Diamond, M. 2002. Passive air sampling results for polybrominated diphenyl ethers along an urban-rural transect. 4<sup>th</sup> Annual Workshop on Brominated Flame Retardants in the Environment, June 17-18, Canada centre for Inland Waters, Burlington, Ontario, pp. 51-54.
- Harrad, S. and Hunter, S. 2004. Spatial Variation in Atmospheric Levels of PBDEs in Passive Air Samples on an Urban-Rural Transect. *Organohalogen Compounds*. 66: 3786-3792.
- Harrad, S., Wijesekara, R., Hunter, S., Halliwell, C. and Baker, R. 2004. Preliminary Assessment of UK Human Dietary and Inhalation Exposure to Polybrominated Diphenyl Ethers. *Environ. Sci. Technol.* 38: 2345-2350.
- Hassanin, A., Breivik, K., Meijer, S.N., Steinnes, E., Thomas, G.O. and Jones, K.C. 2004. PBDEs in European Background Soils: Levels and Factors Controlling Their Distribution. *Environ. Sci. Technol.* 38: 738-745.
- Hayakawa K, Takatsuki H, Watanabe I. and Sakai S. 2004. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs), polybrominated dibenzo-p-dioxins/dibenzofurans (PBDD/Fs) and monobromo-polychlorinated dibenzofurans (MoBPXDD/Fs) in the atmosphere and bulk deposition in Kyoto, Japan. *Chemosphere* 57: 343-356.
- He, J., Robrock, K.R. and Alvarez-Cohen, L. 2006. Microbial Reductive Debromination of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs). *Environ. Sci. Technol.* 40: 4429-4434.
- Herzke, D., Gabrielsen, G.W., Evenset, A. and Burkow, I.C. 2003. Polychlorinated camphenes (toxaphenes), polybrominated diphenylethers and other halogenated organic pollutants in Glaucous Gull (*Ularus hyperboreus*) from Svalbard and Bjørnøya (Bear Island). *Environmental Pollution* 121: 293-300.
- Herzke, D., Berger, U., Kallenborn, R., Nygård, T. and Vetter, W. 2005. Brominated flame retardants and other organobromines in Norwegian predatory bird eggs. *Chemosphere* 61: 441-449.
- Hites, R.A. 2004. Polybrominated Diphenyl Ethers in the Environment and in People: A Meta-Analysis of Concentrations. *Environ. Sci. Technol.* 38: 945-956.
- Hoh, E. and Hites, R.A. 2005. Brominated Flame Retardants in the Atmosphere of the East-Central United States. *Environ. Sci. Technol.* 39: 7794-7802.
- Huwe, J.K. and Larsen, G.L. 2005. Polychlorinated Dioxins, Furans, and Biphenyls, and Polybrominated Diphenyl Ethers in a U.S. Meat Market Basket and Estimates of Dietary Intake. *Environ. Sci. Technol.* 39: 5606-5611.
- Ikonomou, M.G., Raine, S. and Adisson, R.F. 2002. Exponential Increases of the Brominated Flame Retardants Polybrominated Diphenyl Ethers, in the Canadian Arctic From 1981-2000. *Environ. Sci. Technol.* 36: 1886-1892.
- International Environment Reporter. 2006. Material available for a fee – see [www.bna.com](http://www.bna.com).
- Jakobsson, K. Thuresson, K., Rylander, L., Sjödin, A., Hagner, L. and Bergman, A. 2002. Exposure to polybrominated diphenyl ethers and tetrabromobisphenol A among computer technicians. *Chemosphere* 46: 709-716.
- Jaspers, V., Covaci, A., Maervoet, J., Dauwe, T., Schepens, P. and M. 2004. Brominated flame retardants in Belgian little owl (*Athene noctua*) eggs. *Organohalogen Compounds* 66: 3856-3860.
- Jaward, F.M., Farrar, N.J., Harner, T., Sweetman, A.J. and Jones, K.C. 2004. Passive Air Sampling of PCBs, PBDEs, and Organochlorine Pesticides Across Europe. *Environ. Sci. Technol.* 38: 34-41.
- Johnson-Restrepo, B., Kannan, K., Rapaport, D.P., and Rodan, B.D. 2005. Polybrominated Diphenyl Ethers and Polychlorinated Biphenyls in Human Adipose Tissue from New York. *Environ. Sci. Technol.* 39: 5177-5182.
- Kajiwara, N., Ueno, D., Takahashi, A., Baba, N. and Tanabe, S. 2004. Polybrominated Diphenyl Ethers and Organochlorines in Archived Northern Fur Seals Samples From The Pacific Coast of Japan, 1972-1998. *Environ. Sci. Technol.* 38: 3804-3809.

Kannan, K., Ramu, K., Kajiwara, N., Sinha, R.K. and Tanabe, S. 2005. Organochlorine pesticides, polychlorinated biphenyls, and polybrominated diphenyl ethers in Irrawaddy dolphins from India. *Arch. Environ. Contamination* 49: 415-420.

Källqvist, T., Grung, M. and Tollefsen, K-E. Chronic toxicity of 2,4,2',4'-tetrabromodiphenyl ether (BDE-47) on the marine alga *Skeletonema costatum* and the crustacean *Daphnia magna*. *Environmental Toxicology and Chemistry* (accepted for publication).

Kierkegaard, A., Bignert, A., Sellström, U., Olsson, M., Asplund, L., Jansson, B. and de Wit, C.A. 2004a. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and their methoxylated derivatives in pike from Swedish waters with emphasis on temporal trends, 1967-2000. *Environmental Pollution* 130: 187-198.

Knudsen, L. B., Gabrielse, G. W., Verreault, J., Barrett, R., Skåre, J.U., Polder, A. and Lie, E. 2005. Temporal trends of brominated flame retardants, cyclododeca-1,5,9-triene and mercury in eggs of four seabird species from Northern Norway and Svalbard. SFT-report 942/2005.

Koizumi, A., Yoshinaga, T., Harada, K., Inoue, K., Morikawa, A., Muroi, J., Inoue, S., Eslami, B., Fujii, S., Fujimine, Y., Hachiya, N., Koda, S., Kusaka, Y., Murata, K., Nakatsuka, N., Omae, K., Saito, N., Shimbo, S., Takenaka, K., Takeshita, T., Todoriki, H., Wada, Y., Watanabe, T. and Ikeda, M. 2006. Assessment of human exposure to polychlorinated biphenyls and polybrominated diphenyl ethers in Japan using archived samples from the early 1980s and mid-1990s. *Environmental Res.* Accepted for publication December 2004, still 'in press' when accessed at [www.elsevier.com/locate/envres](http://www.elsevier.com/locate/envres) in June 2006.

Kuriyama, S.N., Talsness, C.E., Grote, K. and Chahoud, I. 2005. Developmental exposure to low dose PBDE-99: effects on male fertility and neurobehavior in rat offspring. *Environmental Health Perspectives* 113(2):149-54.

Law, R. J., Alaei, M., Allchin, C.R., Boon, J.P., Lebeuf, M., Lepom, P. and Stern, G.A. 2003. Levels and trends of polybrominated diphenylethers and brominated flame retardants in wildlife. *Environment International* 29: 757-770.

Law, R.J., Allchin, C.R., de Boer, J., Covaci, A., Herzke, D., Lepom, P., Morris, S., Tronczynski, J. and de Wit, C.A. 2005. Levels and Trends of Brominated Flame Retardants in European and Greenland Environments. *Chemosphere* 64: 187-208.

Lee, R.G.M., Thomas, G.O. and Jones, K.C. 2004. PBDEs in the Atmosphere of Western Europe. *Environ. Sci. Technol.* 38: 699-706.

Lindberg, P., Sellström, U., Häggberg, L. and de Wit, C.A. 2004. Higher Brominated Diphenyl Ethers and Hexabromocyclododecane Found in Eggs of Peregrine Falcons (*Falco peregrinus*) Breeding in Sweden. *Environ. Sci. Technol.* 38: 93-96.

Lithner, G., Holm, K. and Ekström, C. 2003. Metaller och organiska miljögifter i vattenlevande organismer och deras miljö i Stockholm 2001. ITM Rapport 108, 87 pp., Institute of Applied Environmental Research (ITM), Stockholm University, Stockholm, Sweden, ISBN 91-631-3758-5 (in Swedish).

López, D., Athanasiadou, M. and Athanassiadis, I. 2004. A preliminary study on PBDEs and HBCD in blood and milk from Mexican women. The third international workshop on brominated flame retardants, BFR 2004.

Magnusson, K., Agrenius, S. and Ekelund, R. 2003. Distribution of a tetrabrominated diphenyl ether and its metabolites in soft-bottom sediment and macrofauna species. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 255: 155-170.

Marsch, G., Athanasiadou, M., Bergman, Å. and Asplund, L. 2004. Identification of Hydroxylated and Methoxylated Polybrominated Diphenyl Ethers in Baltic Sea salmon (*Salmo salar*) Blood. *Environ. Sci. Technol.* 38: 10-18.

Matcheko, N., Tysklind, M., de Wit, C., Bergek, S., Andersson, R. and Sellström, U. 2002. Application of sewage sludge to arable land – soil concentrations of polybrominated diphenyl ethers and polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans, and biphenyls, and their accumulation in earth worms. *Environ. Toxicol. Chem.* 21: 2515-2525.

- Meerts, I.A., Letcher, R.J., Hoving, S., Marsh, G., Bergman, A., Lemmen, J.G., van der Burg, B. and Brouwer, A. 2001. *In vitro* estrogenicity of polybrominated diphenyl ethers, hydroxylated PBDEs, and polybrominated bisphenol A compounds. *Environ. Health Perspect.* 109(4): 399-407.
- Moche, W. and Thanner, G. 2004. Levels of PBDE in effluents and sludge from sewage treatment plants in Austria. Proceedings of the Third International Workshop on Brominated Flame Retardants BFR2004, Toronto, Canada, June 6-9 2004. pp. 167-170.
- Morf, L.S., Tremp, J., Huber, Y., Stengele, M. and Zenegg, M. 2005. Brominated flame retardants in waste electrical and electronic equipment: substance flow in a recycling plant. *Environ. Sci. Technol.* 39: 8691-8699.
- Muir, D.C.G., Backus, S., Derocher, A.E., Dietz, R., Evans, T.J., Gabrielsen, G.W., Nagy, J., Norström, R.J., Sonne, C., Stirling, I., Taylor, M.K. and Letcher, R. J. 2006. Brominated flame retardants in polar bears (*Ursus maritimus*) from Alaska, the Canadian Arctic, East Greenland, and Svalbard. *Environ. Sci. Technol.* 40: 449-455.
- Norström, R.J., Simon, M., Moisey, J., Wakeford, B. and Weseloh, D.V.C. 2002. Geographical Distribution (2000) and Temporal Trends (1981-2000) of Brominated Diphenyl Ethers and Hexabromocyclododecane in Guillemot Eggs from Baltic Sea. *Environ. Sci. Technol.* 37: 5496-5501.
- Nylund, K., Asplund, L., Jansson, B., Jonsson, P., Litzén, K. and Sellström, U. 1992. Analysis of some polyhalogenated organic pollutants in sediments and sewage sludge. *Chemosphere*, 24: 1721-1730.
- Päpke, O., Bergman, Å., Fürst, P., Meironyté, G.D., and Herrmann, T. 2001. Determination of PBDEs in human milk from the United States - comparison of results from three laboratories. *Organohalogen Compounds.* 52: 197-200.
- Palm, A. 2001. The Environmental Fate of Polybrominated Diphenyl Ethers in the centre of Stockholm – Assessment of Using a Multimedia Fugacity Model. Master of Science Thesis, Umeå Universitat.
- Palm, A., Cousins, I.T., Mackay, D., Tysklind, M., Metcalf, C. and Alae, M. 2002. Assessing the Environmental Fate of Chemicals of Emerging Concern: A Case Study of the PBDEs. *Environ. Poll.* 117: 195-213.
- Peltola, J. and Yla-Mononen, L. 2001. Pentabromodiphenyl ether as a global POP. *TemaNord 2001*, vol. 579. Copenhagen: Nordic Council of Ministres; ISBN 92-893-0690-4: 78 pp.
- Prevedouros, K., Jones, K.C. and Sweetman, A.J. 2004a. European-Scale Modelling of Concentrations and Distribution of Polybrominated Diphenyl Ethers in the Pentabromodiphenyl Ether Product. *Environ. Sci. Technol.* 38: 5993-6001.
- Prevedouros, K., Jones, K.C. and Sweetman, A.J. 2004b. Estimation of the Production, Consumption, and Atmospheric Emissions of Pentabrominated Diphenyl Ethers in Europe Between 1970 and 2000. *Environ. Sci. Technol.* 38: 3224-3231.
- Ramu, K., Kajiwara, N., Tanabe, S., Lam, P.K.S. and Jefferson, T.A. 2005. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and organochlorines in small cetaceans from Hong Kong waters: Levels, profiles and distribution. *Marine Poll. Bull.* 51: 669-676.
- Reistad, T., Mariussen, E. and Fonnum, F. 2002. The effects of polybrominated flame retardants on cell death and free radical formation in cerebellar granule cells. *Organohalogen Compd* 57: 391-394.
- [Reistad, T.](#) and [Mariussen, E.](#) 2005. A commercial mixture of the brominated flame retardant pentabrominated diphenyl ether (DE-71) induces respiratory burst in human neutrophil granulocytes *in vitro*. [Toxicol. Sci.](#) 87: 57-65.
- Ryan, J.J., Patry, B., Mills, P. and Beaudoin G. 2002. Recent trends in levels of brominated diphenyl ethers (BDEs) in human milks from Canada. *Organohalogen Compounds.* 58: 173-176.

- Ryan, J.J. 2004. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in human milk; occurrence worldwide. The third international workshop on brominated flame retardants, BFR 2004.
- Sand, S., von Rosen, D., Eriksson, P., Fredriksson, A., Viberg, H., Victorin, K. and Filipsson, A.F. 2004. Dose-response modeling and benchmark calculations from spontaneous behaviour data on mice neonatally exposed to 2,2',4,4',5-pentabromodiphenyl ether. *Toxicol. Sci.* 81: 491-501.
- Schechter, A., Päpke, O., Tung, K-C., Staskal, D. and Birnbaum, L. 2004. Polybrominated Diphenyl Ethers Contamination of United States Food. *Environ. Sci. Technol.* 38: 5306-5311.
- Schechter, A., Päpke, O., Harris, T.R., Tung, K-C., Musumba, A., Olson, J. and Birnbaum, L. 2006. Polybrominated Diphenyl Ether (PBDE) Levels in an Expanded market basket Survey of United States (US) Food and Estimated PBDE Intake by Age and Gender. *Environ. Health Perspectives*. Doi:10.1289/ehp.9121 (prepublication viewed online 13 July 2006).
- ter Schure, A.F.H. and Larsson, P. 2002. Polybrominated diphenyl ethers in precipitation in Southern Sweden (Skåne, Lund). *Atmos. Environ.* 36: 4015-4022.
- ter Schure, A.F.H., Larsson, P., Agrell, C., and Boon, J.P. 2004a. Atmospheric Transport of Polybrominated Diphenyl Ethers and Polychlorinated Biphenyls to the Baltic Sea. *Environ. Sci. Technol.* 38: 1282-1287.
- ter Schure, A.F.H., Agrell, C., Bokenstrand, A., Sveder, J., Larsson, P. and Zegers, B.N. 2004b. Polybrominated diphenyl ethers at a solid waste incineration plant. II: atmospheric deposition. *Atmos. Environ.* 38: 5149-5155.
- Sellström, U. 1996. PBDEs in the Swedish environment. Licentiate Thesis, Institute of Applied Research, Stockholm University.
- Sellström, U., Bignert, A., Kierkegaard, A., Häggberg, L., de Wit, C.A., Olsson, M. and Jansson, B. 2003. Temporal Trend Studies on Tetra- and Pentabrominated Diphenyl Ethers and Hexabromocyclododecane in Guillemot Eggs From the Baltic Sea. *Environ. Sci. Technol.* 37: 5496-5501.
- Shoeb, M., Harner, T., Ikononou, M. and Kannan, K. 2004. Indoor and Outdoor Concentrations and Phase Partitioning of Perfluoroalkyl Sulfonamides and Polybrominated Diphenyl Ethers. *Environ. Sci. Technol.* 38: 1313-1320.
- Siddiqi, M.A., Laessig, R.H. and Reed, K.D. 2003. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs): new pollutants – old diseases. *Clin Med Res.* 1(4):281-90.
- Sinkkonen, S., Rantalainen, A.-L., Paasivirta, J. and Lahtiperä, M. 2004. Polybrominated methoxy diphenyl ethers (MeO-PBDEs) in fish and guillemot of Baltic, Atlantic and Arctic environments. *Chemosphere* 56: 767-775.
- Sjödin, A., Patterson, D.G. and Bergman Å. 2003. A review on human exposure to brominated flame retardants – particularly polybrominated diphenyl ethers. *Environ. Int.* 29: 829-839.
- Sjödin, A., Hagmar, L., Klasson-Wehler, E., Kronholm-Diab, K., Jakobsson, E. and Bergman, A. 1999. Flame retardant exposure: polybrominated diphenyl ethers in blood from Swedish workers. *Environ. Health perspectives* 107: 643-648.
- Stapleton, H.M., Letcher, R.J. and Baker, J.E. 2004. Debrominated Diphenyl Ether Congeners BDE 99 and BDE 183 in the Intestinal Tract of the Common Carp (*Cyprinus carpio*). *Environ. Sci. Technol.* 38: 1054-1061.
- Stapleton, H.M., Dodder, N.G., Offenber, J.H., Schantz, M.M. and Wise, S.A. 2005. Polybrominated Diphenyl Ethers in House Dust and Clothes Dryer Lint. *Environ. Sci. Technol.* 39: 925-931.
- Stoker, T.E., Laws, S.C., Crofton, K.M., Hedge, J.M., Ferrell, J.M. and Cooper, R.L. 2004. Assessment of DE-71, a commercial polybrominated diphenyl ether (PBDE) mixture, in the EDSP male and female pubertal protocols. *Toxicol. Sci.* 78(1): 144-55.

- Stoker, T.E., Cooper, R.L., Lambright, C.S., Wilson, V.S., Furr, J. and Gray, L.E. 2005. *In vivo* and *in vitro* anti-androgenic effects of DE-71, a commercial polybrominated diphenyl ether (PBDE) mixture. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 207(1): 78-88.
- Strandberg, B., Dodder, N.G., Basu, I. and Hites, R.A. 2001. Concentrations and Spatial Variations of Polybrominated Diphenyl Ethers and Other Organohalogen Compounds in Great Lakes Air. *Environ. Sci. Technol.* 35: 1078-1083.
- Swiss Agency for the Environment. 2002. Environmentally hazardous substances: Selected polybrominated flame retardants, PBDE and TBBPA – Substance flow analysis. Environmental series No. 338.
- Sørmo, E.G., Salmer, M.P., Jenssen, B.M., Hop, H., Bæk, K., Kovacs, K.M., Lydersen, C., Falk-Pettersen, S., Gabrielsen, G.W., Lie, E. and Skaare, J.U. 2006. Biomagnification of brominated flame retardants in the polar bear food chain in Svalbard, Norway. Accepted for publication in *Environmental Toxicology and Chemistry*.
- Talsness, C.E., Shakibaei, M., Kuriyama, S.N., Grande, S.W., Sterner-Kock, A., Schnitker, P., de Souza, C., Grote, K. and Chahoud, I. 2005. Ultrastructural changes observed in rat ovaries following *in utero* and lactational exposure to low doses of a polybrominated flame retardant. *Toxicol. Lett.* 157(3):189-202.
- Thomas, G.O., Moss, S.E.W., Asplund, L. and Hall, A.J. 2005. Absorption of decabromodiphenyl ether and other organohalogen chemicals by grey seals (*Halichoerus grypus*). *Environ. Pollut.* 133: 581-6.
- Thomsen, C., Frøshaug, M., Becher, G., Kvale, H.E., Knutsen, H., Alexander, J., Bergsten, C. and Meltzer, H.M. 2004. PBDEs in serum from persons with varying consumption of fish and game. The third international workshop on brominated flame retardants, BFR 2004.
- Thomsen, C., Liane, V., Frøshaug, M. and Becher, G. 2005a. Levels of brominated flame retardants in human samples from Norway through three decades. *Organohalogen Compounds.* 67: 658-661.
- Thomsen, C., Frøshaug, M., Broadwell, S.L., Becher, G. and Eggesbø, M. 2005b. Levels of brominated flame retardants in milk from the Norwegian Human Milk Study: HUMIS. *Organohalogen Compounds.* 67: 509-512.
- Thron, K.U., Bruhn, R. and McLachlan, M.S. 2004. The influence of age, sex, body-condition, and region on the levels of PBDEs and toxaphene in harbour porpoises from European waters. *Fresenius Environ. Bull.* 13: 146-155.
- Timme-Laragy, A.R., Levin, E.D. and Di Giulio, R.T. 2006. Developmental and behavioural effects of embryonic exposure to the polybrominated diphenyl ether mixture DE-71 in the killifish (*Fundulus heteroclitus*). *Chemosphere* 62: 1097-1104.
- Ueno, D., Kajiwara, N., Tanaka, H., Subramanian, A., Fillmann, G., Lam, P.K.S., Zheng, G.J., Muchitar, M., Razak, H., Prudente, M., Chung, K. and Tanabe, S. 2004. Global Pollution Monitoring of Polybrominated Diphenyl Ethers Using Skipjack Tuna as a Bioindicator. *Environ. Sci. Technol.* 38: 2312-2316.
- Van der Goon, D., van het Bolscher, M., Visschedijk, A.J.H. and Zandveld, P.Y.J. 2005. Study to the effectiveness of the UNECE persistent organic pollutants protocol and cost of possible additional measures. Phase I: Estimation of emission reduction resulting from the implementation of the POP protocol. TNO-report 2005/194.
- VCCEP. 2003. US Voluntary Children's Chemical Evaluation Program. 2003. Tier 1 Assessment of the Potential Health Risks to Children Associated With Exposure to the Commercial Pentabromodiphenyl Ether Product, prepared for Great Lakes Chemical Corporation.
- VCCEP. 2005. US Voluntary Children's Chemical Evaluation Program (VCCEP), Summary of Tier 1 Hazard Assessment, document 25 August 2005, accessed July 2006. <http://www.epa.gov/chemrtk/vccep/pubs/finalpenoct.pdf>.
- Verreault, J., Gabrielsen, G.W., Letcher, R.I., Muir, D.C.G., and Chu, S. 2004. New and established organohalogen contaminants and their metabolites in plasma and eggs of glaucous gulls from Bear Island. SPFO-Report: 914/2004.

- Verreault, J., Gabrielsen, G.W., Chu, S., Muir, D.C.G., Andersen, M., Hamaed, A. and Letcher, R.I. 2005. Flame Retardants and Methoxylated and Hydroxylated Polybrominated Diphenyl Ethers in Two Norwegian Arctic Top Predators: Glaucous Gulls and Polar Bears. *Environ. Sci. Technol.* 39: 6021-6028.
- Viberg, H., Fredriksson, A. and Eriksson, P. 2002. Neonatal exposure to the brominated flame retardant 2,2',4,4',5-pentabromodiphenyl ether causes altered susceptibility in the cholinergic transmitter system in the adult mouse. *Toxicol. Sci.* 67: 104-7
- Viberg, H., Fredriksson, A. and Eriksson, P. 2004. Investigation of strain and/or gender differences in developmental neurotoxic effects of polybrominated diphenyl ethers in mice. *Toxicol. Sci.* 81: 344-53.
- VKM 2005. Vitenskapskomiteen for mattrygghet (Norwegian Scientific Committee for food safety.) Utalelse fra faggruppen for forurensninger, naturlige toksiner og medisinerester i matkjeden. Risikovurdering av PBDE. 04/504.
- Vives, I., Grimalt, J.O., Lacorte, S., Guillamón, M., Barceló, D. and Rosseland, B.O. 2004. Polybromodiphenyl Ether Flame Retardants in Fish from Lakes in European High Mountains and Greenland. *Environ. Sci. Technol.* 38: 2338-2344.
- Voorspoels, S., Covaci, A. and Schepens, P. 2003. Polybrominated Diphenyl Ethers in Marine Species from the Belgian North Sea and the Western Scheldt Estuary: Levels, Profiles and Distribution. *Environ. Sci. Technol.* 37: 4348-4357.
- Vorkamp, K., Christensen, J.H., Glasius, M. and Riget, F.R. 2004a. Persistent halogenated compounds in black guillemots (*Cepphus grylle*) from Greenland – levels, compound patterns and spatial trends. *Mar. Pollut. Bull.* 48: 111-121.
- Vorkamp, K., Christensen, J.H. and Riget, F.R. 2004b. Polybrominated diphenyl ethers and organochlorine compounds in biota from the marine environment of East Greenland. *Sci. Total Environ.* 331: 143-155.
- Vorkamp, K., Thomsen, M., Falk, K., Leslie, H., Møller, S. and Sørensen, P.B. 2005. Temporal Development of Brominated Flame Retardants in Peregrine Falcon (*Falco peregrinus*) Eggs from South Greenland (1986-2003). *Environ. Sci. Technol.* 39: 8199-8206.
- Vulykh, N., Dutchak, S., Mantseva, E. and Shatalov, V. 2004. EMEP contribution to the preparatory work for the review of the CLRTAP protocol on persistent organic pollutants. New Substances: Model assessment of potential for long-range transboundary atmospheric transport and persistence of PentaBDE. EMEP MSC-E Information Note 10/2004. Metrological Synthesizing Centre-East.
- Wang, D., Cai, Z., Jiang, G., Leung, A., Wong, M.H. and Wong, W.K. 2005. Determination of polybrominated diphenylethers in soil and sediment from an electronic waste recycling facility. *Chemosphere* 60: 810-816.
- Washington State Polybrominated Diphenyl Ether (PBDE) Chemical Action Plan: Draft Final Plan, December 1, 2005.
- Weber, R. and Kuch, B. 2003. relevance of BFRs and thermal conditions on the formation pathways of brominated and brominated-chlorinated dibenzodioxins and dibenzofurans. *Environ. Int.* 29: 699-710.
- Weiss, J., Meijer, L., Sauer, P., Lindeholm, L., Athanasiadis, I. and Bergman, Å. 2004. PBDE and HBCDD levels in blood from Dutch mothers and infants. The third international workshop on brominated flame retardants, BFR 2004.
- Wilford, B.H., Shoeib, M., Harner, T., Zhu, J. and Jones, K.C. 2005. Polybrominated Diphenyl Ethers in Indoor Dust in Ottawa, Canada: Implications for Sources and Exposure. *Environ. Sci. Technol.* 39(18): 7027-7035.
- Wolkers, H., van Bavel, B., Derocher, A.E., Wiig, Ø., Kovacs, K.M., Lydersen, C. and Lindström, G. 2004. Congener-Specific Accumulation and Food Chain Transfer of Polybrominated Diphenyl Ethers in Two Arctic Food Chains. *Environ. Sci. Technol.* 38: 1667-1674.

Xin-Ming Wang, Ding, X., Mai, B-X., Xie, Z-Q., Xiang, C-H., Sun, L-G., Sheng, G-Y., Fu, J-M. and Zeng, E.Y. 2005. Polybrominated Diphenyl Ethers in Airborne Particulates Collected During a Research Expedition from the Bohair Sea to the Arctic. *Environ. Sci. Technol.* 39: 7803-7809.

Zegers, B.N., Lewis, W.E. and Boon, J.P. 2000. Levels of Some Polybrominated Diphenyl Ether (PBDE) Flame Retardants in Dated Sediment Cores. *Organohalogen Compounds*, 47: 229-232.

Zegers, B.N., Lewis, W.A., Booij, K., Smittenberg, R.H., Boer, W., de Boer, J. and Boon, J.P. 2003. Levels of polybrominated diphenyl ether flame retardants in sediment cores from Western Europe. *Environ. Sci. Technol.* 37: 3803-3807.

Zennegg, M., Kohler, M., Gerecke, A.C. and Schmid, P. 2003. Polybrominated diphenyl ethers in whitefish from Swiss lakes and farmed rainbow trout. *Chemosphere* 51: 545-553.

Zhou, T., Ross, D.G., DeVito, M.J. and Crofton, K.M. 2001. Effects of short-term in vivo exposure to polybrominated diphenyl ethers on thyroid hormones and hepatic enzyme activities in weanling rats. *Toxicol. Sci.* 61: 76-82.

Zhou, T., Taylor, M.M., De Vito, M.J. and Crofton, K.M. 2002. Developmental exposure to brominated diphenyl ethers results in thyroid hormone disruption. *Toxicol. Sci.* 66: 105-116.

---