



**PROGRAMME
DES NATIONS UNIES
SUR L'ENVIRONNEMENT**



**Les transformateurs et condensateurs
contaminés par les PCB ; de la gestion au
reclassement et à l'élimination**

Première parution
Mai 2002



PREPARE PAR LE PNUE SUBSTANCES CHIMIQUES

IOMC

PROGRAMME INTERORGANISATIONNEL POUR LA GESTION RATIONNELLE DES PRODUITS CHIMIQUES

Un accord de cooperation entre PNUE, BIT, FAO, OMS, ONUDI, UNITAR et OCDE



**PROGRAMME
DES NATIONS UNIES
SUR L'ENVIRONNEMENT**



**Les transformateurs et condensateurs contaminés par
les PCB ; de la gestion au reclassement et à
l'élimination**

Première parution
Mai 2002

PREPARE PAR LE PNUE SUBSTANCES CHIMIQUES

IOMC

PROGRAMME INTERORGANISATIONNEL POUR LA GESTION RATIONNELLE DES PRODUITS CHIMIQUES

Un accord de cooperation entre PNUE, BIT, FAO, OMS, ONUDI, UNITAR et OCDE

L'objectif de cette publication est de servir de guide sur la gestion, le reclassement et l'élimination des transformateurs et des condensateurs. Les informations apportées ont été établies avec tous les principes de rigueur attendus, de ce fait, le PNUE se décharge de toute responsabilité sur d'éventuelles inexactitudes ou omissions qui pourraient émaner de ce document et des conséquences qui en découleraient. Le PNUE n'endosse pas, ni ne certifie les produits ou procédés cités dans le document. Ni le PNUE, ni aucune personne impliquée dans la préparation de ce rapport ne sera lié juridiquement pour toute blessure, perte, dommage ou préjudice de toute sorte qui aurait pu être causé par un tiers ayant agi en fonction de sa compréhension des informations contenues dans ladite publication.

Les désignations utilisées et le matériel de présentation dans le cadre de ce rapport n'impliquent nullement des avis d'opinion de la part des Nations Unies ou du PNUE sur le statut juridique de tout pays, territoire, ville ou région, ou de leurs autorités, ou concernant toute délimitation de leurs frontières ou limites géographiques.

Cette publication a été réalisée sous contrat par Jacques Ehretsmann. Toute opinion exprimée ne reflète pas nécessairement celle du PNUE.

Photos attribuées par : Aprochim (couverture et page 13) ; AGR Espagne (page 32).

Première impression (avril 2002).

La matière de cette publication peut être librement citée ou reproduite, mais il est demandé de citer le présent document tout en faisant référence également au numéro de publication. Une copie du rapport contenant la citation ou la reproduction devrait être transmise au PNUE Substances chimiques.

Cette publication est produite dans le cadre du Programme Inter-Organisme pour la Gestion rationnelle des Produits chimiques (IOMC)

Le Programme Inter-organisme pour la Gestion Rationnelle des Produits Chimiques a été créé en 1995 par le PNUE, le BIT, la FAO, l'OMS et l'OCDE (Organisations participantes), selon les recommandations faites lors de la Conférence des Nations-Unies sur l'Environnement et le Développement en 1992 dans l'objectif de renforcer la coopération et d'augmenter la coordination dans le domaine de la sécurité chimique. En janvier 1998, l'UNITAR s'est joint formellement à l'IOMC en tant qu'organisation participante. L'objectif de l'IOMC est de promouvoir la coordination des politiques et des activités poursuivies par les Organisations participantes conjointement ou de manière séparée, pour atteindre une gestion rationnelle des produits chimiques en relation avec la santé humaine et l'environnement.

Les copies de ce rapport sont disponibles auprès de :
PNUE Substances Chimiques
11-13 chemin des Anémones
CH-1219 Châtelaine (Genève), Suisse
Tél. : +41 22 917 8170
Fax : +41 22 797 3460
E-Mail: chemicals@unep.ch

PNUE
SUBSTANCES CHIMIQUES

Le PNUE Substances Chimiques fait partie de la Division Technologie, Industrie et Economie du PNUE

TABLE DES MATIERES

1	INTRODUCTION	11
2	INFORMATIONS DE BASE	12
3	LES PROPRIETES DES PCB.....	14
4	LES EQUIPEMENTS ELECTRIQUES ET LES PCB.....	17
5	DESCRIPTION DES TRANSFORMATEURS ET DES CONDENSATEURS.....	19
5.1	LES TRANSFORMATEURS	19
5.2	LES CONDENSATEURS.....	20
6	GESTION DES TRANSFORMATEURS CONTENANT DES PCB	22
6.1	L'IDENTIFICATION DES TRANSFORMATEURS CONTENANT DES PCB	22
6.1.1	Les plaques d'origine identifiant le fabricant	22
6.1.2	La conception du transformateur	25
6.2	L'IDENTIFICATION DES HUILES CONTENANT DES PCB	25
6.3	L'ENTRETIEN DES TRANSFORMATEURS CONTENANT DES PCB.....	27
6.4	LES FUITES DES TRANSFORMATEURS	27
6.5	EVALUATION DE LA PERFORMANCE	28
6.5.1	Les tests électriques	29
6.5.2	Les tests chimiques.....	29
7	SANTE ET SECURITE	31
7.1	MANIPULATION DES LIQUIDES ET EQUIPEMENTS CONTAMINES PAR LES PCB.....	31
7.1.1	Les précautions de santé	31
7.1.2	Equipement personnel de protection (EPP).....	32

7.1.3	Ventilation.....	33
7.1.4	Equipement de protection respiratoire (EPR)	33
7.2	SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE.....	35
7.3	FUITES ET DEVERSEMENTS	35
7.3.1	Accidents.....	35
7.3.2	Fuites des transformateurs	36
8	RECLASSEMENT DES TRANSFORMATEURS.....	39
9	LE RETROFILLING DE TRANSFORMATEURS.....	41
9.1	LISTE DE CONTROLE POUR LA DECISION DE RETROFILLING	41
9.2	CARACTERISTIQUES NECESSAIRES POUR LES HUILES DE REMPLACEMENT	44
9.3	AUTRES CONSIDERATIONS.....	45
9.4	MESURES DE CONTROLE POUR LE RETROFILLING	46
9.4.1	La manipulation de transformateurs contenant des PCB	46
9.4.2	Mise en place d'aménagement pour la manipulation et le démontage d'équipements contenant des PCB	46
9.4.3	Précautions nécessaires lors du démontage d'équipement contenant des PCB	47
9.4.4	La vidange de transformateurs contenant des PCB.....	48
9.4.5	Précautions nécessaires pour le rinçage d'équipements en vue d'enlever les PCB	48
9.4.6	La manipulation de condensateurs contenant des PCB.....	48
10	FLUIDES DE SUBSTITUTION POUR LE RETROFILLING	51
10.1	HUILES MINERALES	51
10.2	HUILES AUX SILICONES	51
10.3	LES HUILES SYNTHETIQUES A ESTER.....	52
11	ELIMINATION ET/OU REMPLACEMENT DE TRANSFORMATEURS CONTENANT DES PCB.....	59

11.1	ELIMINATION DES TRANSFORMATEURS	59
11.2	LE REMPLACEMENT DES TRANSFORMATEURS	60
12	SOURCES D'INFORMATIONS COMPLEMENTAIRES.....	61
12.1	ENTRETIEN GENERAL	61
12.2	LE RETROFILLING	61
12.3	Liste des ouvrages.....	62
12.4	INFORMATIONS GENERALES SUR LES PCB ET LA LEGISLATION.....	62
ANNEXE A : EXTRAIT DE LA CONVENTION DE STOCKHOLM CONCERNANT LES PCB		65
ANNEXE B : EXEMPLES D'HUILES DE SUBSTITUTION.....		67

PREFACE

Cette publication portant sur la gestion, le reclassement et l'élimination des transformateurs et condensateurs contaminés par les PCB est la quatrième sur les composés polychlorobiphényles (PCB). Les PCB sont des polluants organiques persistants (POP), c'est-à-dire des substances chimiques qui sont rémanentes, qui s'accumulent dans les tissus biologiques et causent des dégâts à la santé humaine et à l'environnement. Ils peuvent être transportés sur de longues distances et peuvent être détectés aux coins les plus reculés de la Terre, ceci comprenant des endroits très éloignés de ceux où ils ont été fabriqués et utilisés.

Alors même que la fabrication des PCB a cessé, selon les rapports disponibles, le potentiel, ou le rejet actuel des PCB dès lors que de grandes quantités existantes de PCB continuent à être utilisées ou se trouvent stockées. Les transformateurs électriques et les condensateurs sont l'une des sources principales de PCB. Le temps probable de poursuite d'utilisation et la rémanence des PCB une fois émis dans l'environnement signifient que les PCB pourraient causer une menace pour les décennies à venir. Alors que les 12 composés chimiques de la Convention de Stockholm sont sujets à une interdiction immédiate, les équipements existants contenant des PCB peuvent être maintenus jusqu'en 2025, cependant d'une manière qui prévienne les fuites (tout en introduisant progressivement les huiles de remplacement exemptes de PCB).

L'objet de cette publication est de fournir une assistance pratique aux intendants de transformateurs et de condensateurs contenant des PCB. Les conseils sont fournis sur les problématiques principales rencontrées dans la gestion globale des transformateurs et huiles contenant des PCB, en incluant le reclassement et la mise hors service, mais ne remplacent pas les manuels professionnels de gestion qui sont, bien sûr, plus complets et auxquels les opérateurs des équipements électriques devraient se référer. Toute suggestion ou information qui pourrait être incorporée dans de futures révisions du présent document et des publications antérieures seront les bienvenues pour le PNUE.

1 INTRODUCTION

La plupart des transformateurs et des condensateurs utilisent un fluide diélectrique basé sur les composés polychlorobiphényles (PCB). Ces produits, bien qu'ayant des propriétés de résistance au feu et autres exigées pour l'utilisation dans les équipements électriques, présentent quelques inconvénients majeurs. Ces inconvénients sont liés à la nature toxique des PCB et aux contaminations potentielles par les dibenzofurannes, lors de leur transformation en cette substance. Les effets biologiques négatifs se sont révélés pendant de nombreuses années et sont maintenant bien compris. Malheureusement, les PCB ont déjà été utilisés largement depuis environ une quarantaine d'années dans les transformateurs et les condensateurs, et il est maintenant nécessaire d'avancer des solutions pratiques pour les éliminer partout où ils pourraient exister.

De même que certains pesticides, tels que le DDT par exemple, les PCB et les sous-produits industriels de l'incinération – les dioxines et les furannes – font l'objet de la Convention de Stockholm sur les Polluants Organiques Persistants. La Convention aborde les problèmes liés à la production, l'utilisation, l'importation, l'exportation, l'émission de sous-produits, la gestion des stocks et la destruction des 12 POP initiaux.

Selon les termes de la Convention, les Parties se doivent d'interdire et/ou d'adopter des mesures législatives et administratives nécessaires pour éliminer la production et l'utilisation des PCB. A cause d'une dépendance encore assez générale sur des équipements contenant des PCB, notamment de certains transformateurs et condensateurs électriques, une exception est faite pour permettre une utilisation prolongée de tels équipements jusqu'en 2025, dans le cadre d'une politique fixée dans la Convention. (La section principale s'y rapportant est reproduite à l'Annexe A de la présente publication). Il est attendu des Parties qu'elles fournissent des efforts déterminés en vue de l'identification et de l'étiquetage des équipements, ainsi que d'en arrêter l'utilisation.

Le premier problème que les pays disposant de transformateurs contenant des PCB doivent affronter est celui de *localiser* et d'*identifier* cet équipement. Une décision devra ensuite être prise pour déterminer quand, et comment, l'équipement contaminé devra être géré, reclassé et éventuellement éliminé. L'objectif de cette publication est d'assister les responsables de tels équipements à prendre les mesures et décisions appropriées dans le but de remplir les obligations des pays respectifs fixées dans les dispositions de la Convention de Stockholm.

Cette publication présente les informations de base sur l'utilisation des PCB dans les équipements électriques, en particulier dans les transformateurs et condensateurs. Elle décrit comment ces équipements doivent être gérés durant leur durée de vie et éliminés selon les procédures écologiques rationnelles à la fin de leur cycle de vie autorisée. En particulier, elle traite de la question du reclassement des équipements pour les rendre exempts de PCB : cette opération est le rétro-remplissage, appelé « *retrofilling* » en anglais, terme qui sera utilisé dans cette publication. Le procédé de *retrofilling* évite la destruction complète des transformateurs avant la fin de leur cycle de vie utile et permet leur réutilisation, sans PCB.

La formation de résidus dangereux de types variés peut avoir lieu dans les étapes finales du procédé de décontamination. Il est important de garder en mémoire que de tels déchets devront être gérés en stricte conformité avec les réglementations sur les mouvements transfrontières des déchets dangereux fixées par la Convention de Bâle¹, ainsi que les restrictions imposées en matière d'importation/exportation fixées dans le cadre des Conventions de Stockholm et de Rotterdam².

2 INFORMATIONS DE BASE

Les précédentes publications du PNUE Substances Chimiques sur les PCB sont énumérées ci-dessous et se rapportent, à un degré plus ou moins grand, au sujet de ce présent guide. Le lecteur pourra trouver dans ces publications de plus amples informations complémentaires de base sur les PCB, les équipements contenant des PCB et les technologies de destruction des PCB.

Lignes directrices pour l'identification des PCB et du matériel contenant des PCB
(Première parution août 1999)

L'inventaire des capacités mondiales de destruction des PCB
(Première parution décembre 1998)

Etude sur les technologies non-incinératives existantes de destruction des PCB
(Première parution août 2000)

¹ La Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination a été adoptée en 1989 et a été mise en vigueur en 1992.

² La Convention de Rotterdam sur la procédure de consentement préalable en connaissance de cause applicable à certains produits chimiques et pesticides dangereux qui font l'objet d'un commerce international a été adoptée en 1998 et entrera en vigueur après 50 ratifications.



Un transformateur type.

A noter : La plaque d'identification du fabriquant et la notice d'avertissement

3 LES PROPRIETES DES PCB

La synthèse des PCB a été décrite pour la première fois en 1881 et la production commerciale a commencé vers la fin des années 1920. Les utilisations de PCB dans quelques produits ont cessé vers la mi-1970, mais des PCB ont continué à être utilisés dans les transformateurs, les condensateurs, les échangeurs de chaleur et les équipements hydrauliques. Il a été estimé qu'un million de tonnes de PCB a été produit dans le monde depuis 1930. Malheureusement, une proportion considérable en a été rejetée dans l'environnement. Il y a préoccupation sur les effets à long terme de ces composés.

Les PCB sont une famille de composés chimiques formés de deux noyaux benzéniques liés par une liaison carbone-carbone. Les atomes de chlore sont localisés sur un site quelconque disponible parmi les dix restant. Le nombre et la position de ces atomes de chlore déterminent la classification et les propriétés des différentes molécules. Il peut exister 209 congénères de PCB. La volatilité de ces molécules différentes varie avec le degré de chloration. En général, les congénères avec un bas contenu en chlore sont des liquides fluides, devenant plus visqueux et moins volatils lorsque le contenu en chlore augmente. Les préparations commerciales contiennent normalement un mélange de congénères et sont répertoriés en fonction de leur taux en chlore. Il a été identifié environ 130 congénères dans les préparations commerciales. Il peut être noté que, à côté des transformateurs et condensateurs électriques, les PCB ont aussi été utilisés dans le cadre d'autres applications très variées : vernis, cires, résines synthétiques, peintures époxy et marines, revêtements de surface, huiles de coupe, fluides caloporteurs, fluides hydrauliques, etc. Dans tous ces cas, il n'est bien sûr pas possible de récupérer les PCB et des efforts ont été entrepris uniquement dans le but de prévenir des utilisations ultérieures pour de telles applications à l'avenir.

Les PCB sont parmi les composés chimiques organiques les plus stables connus. Leur faible constante diélectrique et leur haut point d'ébullition les rendent idéaux pour l'utilisation en tant que fluides diélectriques dans les condensateurs et transformateurs. En résumé, les PCB ont :

- une faible constante diélectrique
- un faible point de volatilité
- une bonne résistance au feu
- une faible solubilité dans l'eau
- une haute solubilité dans les solvants organiques ; et
- une bonne stabilité dans le temps, sans aucune détérioration due à l'utilisation.

Cependant on considère aujourd'hui que les inconvénients des liquides de PCB sont importants, dans la mesure où ces substances sont :

- non biodégradables ;
- persistants dans l'environnement ;
- à même de s'accumuler dans les tissus adipeux du corps, et
- fortement susceptibles d'être cancérogènes.

Les effets des PCB sur les êtres humains sont graves :

- ils créent des dysfonctionnements des reins et d'autres organes humains ;
- ils produisent en cas d'inhalation des maux de tête, des états maladifs, etc.;
- ils mènent au chloracné si absorbés par la peau.

4 LES EQUIPEMENTS ELECTRIQUES ET LES PCB

Les huiles de PCB ont été proposées au départ comme fluides diélectriques pour être utilisées dans les équipements tels que les transformateurs, les condensateurs les disjoncteurs, les régulateurs de tension, etc. à cause de leurs excellentes propriétés diélectriques et aussi leur taux d'inflammabilité extrêmement bas. Une huile de PCB peut absorber de rapides changements de champs électriques avec une très faible perte d'énergie, c'est-à-dire avec très peu de dégagement de chaleur. Les PCB ont également un très bas point d'éclair et n'ont pas de point de feu, ce qui signifie qu'ils sont très stables lors de grands changements de température. Ils ne brûlent que s'ils sont placés en contact direct avec une flamme.

Lorsqu'il arrive aux PCB de brûler, par exemple si un transformateur ou condensateur est présent lors d'un incendie industriel ou domestique, des composés très toxiques se forment. Il s'agit en particulier des dibenzofurannes, dont les effets néfastes sur la santé ont été déjà bien démontrés. En-dehors du risque que les PCB produisent des furannes en cas d'incendie, les PCB eux-mêmes sont des substances dangereuses à cause de leur grande stabilité et de leur propriété oléophile, ce qui signifie qu'ils sont facilement absorbés dans les tissus adipeux des êtres humains et des animaux. Les PCB peuvent se concentrer dans le corps, par exemple dans les graisses, le foie, etc., et il sera alors très difficile d'éliminer ces molécules.

Des équipements tels que les transformateurs, les condensateurs et, dans une moindre mesure, les échangeurs de chaleur et les équipements hydrauliques peuvent contenir des PCB ou des fluides contaminés par les PCB à des teneurs variables. Par exemple, des PCB sont trouvés dans des condensateurs scellés hermétiquement qui peuvent ne contenir que quelques grammes, tels que ceux qui se trouvent dans les lampes fluorescentes, jusqu'à atteindre un ordre de grandeur de 60 kg pour ceux qui sont intégrés dans les équipements à haute tension. Les condensateurs n'ont pas besoin d'être entretenus, mais des fuites peuvent se produire au niveau des soudures ; les condensateurs contiennent les congénères des PCB les plus faiblement chlorés, ce qui les rend de ce fait plus volatils.

Les PCB ont été progressivement éliminés des utilisations dans les équipements électriques depuis le début des années 1980, ceci variant selon les pays. En absence de plus d'informations, il peut être présumé que les équipements fabriqués avant 1986 sont susceptibles de contenir des PCB. Un très grand nombre de transformateurs qui contiennent encore des PCB existent à ce jour. Les défis sont en premier lieu de localiser de tels équipements, et ensuite de sélectionner les étapes les plus appropriées en vue d'éliminer les PCB qu'ils contiennent.

5 DESCRIPTION DES TRANSFORMATEURS ET DES CONDENSATEURS

L'objectif principal de cette publication est de servir de guide pour les personnes responsables de la gestion d'équipements électriques. Une distinction doit être faite cependant dans le contexte présent entre les transformateurs et les condensateurs. Chacun de ces types d'équipement contient des PCB, mais seuls les transformateurs peuvent être traités de manière à ce que les PCB qu'ils contiennent puissent être enlevés pour permettre ensuite une réutilisation de l'équipement. Les condensateurs doivent en général être détruits et les PCB qu'ils contiennent éliminés, bien que quelques technologies permettent la récupération de certaines parties métalliques avant la destruction finale.

5.1 LES TRANSFORMATEURS

Les transformateurs sont des instruments qui peuvent augmenter ou diminuer le niveau de tension d'un courant électrique. L'énergie électrique est produite dans les stations électriques qui brûlent différents composés fossiles (huiles, charbon, gaz, etc.) et transforment ceux-ci en énergie électrique. Cette énergie est mise sous la forme d'électricité à haute tension qui est ensuite distribuée aux consommateurs finaux (usines, ménages, mines, chemins de fer, écoles, etc.) qui peuvent être situés proches ou distants de la centrale qui produit l'électricité.

Le transfert de cette énergie électrique se fait de manière beaucoup plus avantageuse si la tension est maintenue à un haut niveau. Ceci est dû au fait que les pertes d'énergie durant le transport dans les câbles, soutenus par des pylônes ou enfouis sous le sol, sont beaucoup plus faibles à ces hauts voltages. Les câbles électriques qui sont couramment vus transportent l'électricité à des tensions de plusieurs milliers de kilovolts.

La tension doit être diminuée avant utilisation, afin de correspondre aux exigences industrielles qui sont d'environ quelques milliers de volts aux exigences domestiques de quelques centaines de volts. Chaque transformateur qu'on peut voir couramment dans les sous-stations de production électrique, dans les rues, à la campagne, sur les pylônes, etc. a le rôle de réduire le niveau de tension.

Ces transformateurs doivent être adaptés à la tâche qui leur est assignée. Cela signifie qu'ils peuvent être grands, lorsqu'il s'agit de hauts voltages et courants forts, ou relativement petits, si placés dans la dernière étape dans la chaîne de distribution, à des fins d'alimenter une seule maison ou utilisateur d'électricité, c'est-à-dire, à peut-être 400 volts. De ce fait, les transformateurs varient beaucoup, dans leur conception et taille. Cependant, il est toujours retrouvé le même concept de base qui est un cœur (ou « noyau ») magnétique métallique autour duquel s'enroulent deux bobines de fils conducteurs (en cuivre). C'est le rapport dans le nombre de fils métalliques dans

chacune de deux bobines qui détermine le rapport entre les tensions d'entrée et de sortie.

Cette structure est placée dans un conteneur métallique, et elle est soutenue dans le conteneur par des entretoises en bois (qui est électriquement isolant). Les deux circuits électriques sont équipés de bornes internes permettant les contacts électriques avec l'extérieur. Ces bornes sont isolées par rapport à l'enveloppe métallique par des isolants en céramique.

En dernier lieu, et ce qui est le plus important, l'espace vide à l'intérieur de la cuve du transformateur doit être rempli de fluide qui préviendra tout court-circuit et étincelle. Un transformateur, dans sa dernière étape de fabrication, est ainsi rempli d'un fluide approprié, qui a souvent été un mélange d'huiles à base de PCB. Les transformateurs sont ensuite scellés, ou dans certains cas équipés d'une soupape de détente permettant absorber les changements de volume de l'huile (due à de fluctuations de température).

En résumé, et ceci est important pour expliquer les considérations ultérieures sur l'entretien de l'appareillage, un transformateur est constitué par :

- un conteneur externe en fer, la cuve ;
- un cœur (noyau) magnétique en acier (un ensemble de plaquettes) ;
- des bobines de cuivre couvertes d'une couche isolante constituée de résine ou de papier ; des entretoises en bois à formes variables (celles-ci sont isolantes, mais poreuses et peuvent absorber l'huile diélectrique) ; et
- l'huile diélectrique.

Il y a des différences dans les types de structure de transformateurs ; il est aussi possible de trouver d'autres métaux, tel que par exemple l'aluminium.

Il est pris en compte dans la conception du transformateur le fait qu'il y a production de chaleur lors de son fonctionnement et que cette chaleur doit être évacuée afin d'éviter une augmentation de température dans le transformateur ; ceci conduirait à une diminution d'efficacité électrique de l'équipement - et au renforcement possible des risques de surchauffe avec le danger d'incendie.

5.2 LES CONDENSATEURS

Les condensateurs ont en commun avec les transformateurs la caractéristique de contenir éventuellement des PCB. Cependant, leur nature diffère dans la mesure où les condensateurs, contrairement aux transformateurs, n'ont pas une structure qui est nécessaire scellée. La question de l'entretien d'un condensateur n'est pas une question primordiale, du moment que le condensateur est maintenu en de bonnes conditions et ne

présente pas de fuites. Cependant, à la fin de leur durée de vie, les condensateurs présentent le même danger potentiel que les transformateurs ; aussi, pendant leur utilisation, ils sont utilisés dans des conditions similaires à celles des transformateurs. C'est la raison pour laquelle il est également fait mention des condensateurs dans quelques chapitres de cette publication.

Les condensateurs sont des instruments qui peuvent accumuler et retenir une charge électrique. La structure principale d'un condensateur consiste en surfaces conductrices d'électricité (des feuilles métalliques fines) séparées par un matériau diélectrique, c'est-à-dire non conducteur. Ces surfaces sont des enroulements de feuilles métalliques. Il y a deux rouleaux de feuilles séparés électriquement, chaque enroulement étant équipé de contacts vers l'extérieur du condensateur. Le matériau diélectrique est un fluide diélectrique qui peut contenir, ou non, des PCB.

Il existe trois types principaux de condensateurs. Pour de plus amples détails, incluant la manipulation de condensateurs, le lecteur peut se référer au manuel rédigé par le PNUE et cité ci-dessus, Lignes directrices pour l'identification des PCB et du matériel contenant des PCB.

6 GESTION DES TRANSFORMATEURS CONTENANT DES PCB

6.1 L'IDENTIFICATION DES TRANSFORMATEURS CONTENANT DES PCB

Un problème qui apparaît lorsque l'on élabore les lignes directrices pour l'identification des transformateurs contenant des PCB est qu'un grand nombre de transformateurs de types différents ont été conçus et vendus, et sont actuellement utilisés à travers le monde. Il n'existe pas de liste complète de recensement de ces équipements (mais voir la publication du PNUE Lignes directrices pour l'identification des PCB et du matériel contenant des PCB). De ce fait, il est seulement possible de fournir des conseils d'ordre général à partir desquels le lecteur peut tirer quelques informations pertinentes à sa situation spécifique, et des informations sur les types particuliers d'équipement qu'il peut être appelé à gérer.

Les premiers transformateurs remplis de PCB étaient construits de la même manière qu'une unité conventionnelle. Cependant, des modèles différents ont été développés par la suite, par exemple des transformateurs totalement scellés, sans valve de vidange ni de moyen d'accès facile. La raison pour cela a été que les PCB étaient considérés comme étant des fluides très stables, qu'ils ne se dégraderaient pas comme le font des huiles normales et que les transformateurs pouvaient, de ce fait, être scellés pour leur vie durant. L'expérience a montré que ce n'était pas le cas.

Il n'existe malheureusement pas de méthode absolue pour identifier de l'extérieur les transformateurs qui contiennent des PCB. Cependant, en dehors de la plaque nominale d'origine du fabricant (si elle est toujours présente et lisible), il y a quelques détails de construction qui peuvent beaucoup faciliter cette tâche.

6.1.1 LES PLAQUES D'ORIGINE IDENTIFIANT LE FABRICANT

De nombreux fabricants de transformateurs mettent des plaques d'identification---en plus de leur principale plaque nominative. Ces plaques d'identification indiquent usuellement que le transformateur contient du PYROCLOR, de l'ASKAREL, etc. et qu'il faut de ce fait prendre des précautions spéciales lors de la manipulation.

En général, un transformateur contient un fluide diélectrique qui n'est que partiellement constitué de PCB, car les PCB sont très visqueux. Le mélange peut contenir une huile minérale ou un autre liquide organique chloré qui n'est pas du PCB ; par exemple, du trichlorobenzène et du tétrachloroéthylène peuvent être utilisés. Ces produits sont fluides et de ce fait réduisent la viscosité de l'huile du transformateur. Cela facilite le

mouvement du liquide au travers des ailettes de refroidissement des transformateurs, et donc augmente l'efficacité de refroidissement.

Les fluides diélectriques contenant des PCB peuvent être des mélanges de polychlorobiphényles et de trichlorobenzène (TCB) par exemple. La raison de l'adjonction de TCB est de réduire la viscosité des PCB pour permettre au fluide de circuler librement le long des conduites dans la bobine. Le nom commercial donné à ce type de fluide diélectrique contenant des PCB pour transformateur est généralement bien clair, mais la liste suivante des fluides les plus couramment utilisés peut être utile :

- APIROLIO (Italie)
- AROCLOR (Royaume Uni, U.S.A.)
- ASBESTOL (U.S.A)
- ASKAREL (Royaume Uni, U.S.A.)
- BAKOLA 131 (U.S.A.)
- CHLOREXTOL (U.S.A.)
- CLOPHEN (Allemagne)
- DELOR (Tchécoslovaquie)
- DK (Italie)
- DIACLOR (U.S.A.)
- DYKANOL (U.S.A.)
- ELEMEX (U.S.A.)
- FENCLOR (Italie)
- HYDOL (U.S.A.)
- INTERTEEN (U.S.A.)
- KANECLOR (Japon)
- NOFLAMOL (U.S.A.)
- PHENOCLOR (France)

- PYRALENE (France)
- PYRANOL (U.S.A.)
- PYROCLOR (U.K.)
- SAFT-KUHL (U.S.A.)
- SOVOL (C.E.I.)
- SOVTOL (C.E.I.)

Un examen attentif des spécifications techniques sur la plaque nominative du transformateur ou sur le sigle d'origine du fabricant peut faciliter la détection de la présence de PCB dans le transformateur. Deux points à rechercher sont :

a) Le type de réfrigérant.

Chaque nom ou abréviation parmi les suivants indique la présence d'un fluide autre qu'une huile de transformateur :

- Réfrigérant Liquide Naturel (LN)
- Réfrigérant Liquide Naturel Air Naturel (LNAN)
- Réfrigérant Naturel Synthétique (SN)

En principe, ces transformateurs sont exempts d'huiles contenant des PCB.

Une plaque nominative sur laquelle est noté ON ou ONAN implique l'utilisation du réfrigérant Huile Naturelle Air Naturel

b) La densité du fluide du transformateur.

Un examen du poids du liquide réfrigérant contenu peut être effectué tel que noté sur la plaquette nominative, et il peut être relié au volume du transformateur en gallons ou en litres. Le poids volumique des liquides organiques chlorés est plus élevé que celui d'un hydrocarbure : de l'ordre de 1,5 alors que pour l'huile, alors qu'il est inférieur à 1 pour les hydrocarbures.

S'il existe une valve de drainage, ou une valve d'échantillonnage, un test facile serait de prendre un échantillon du fluide et d'en établir le poids volumique. Une valeur se situant dans la région de 1,5 indiquerait la présence de PCB dans l'huile.

Un test simple sur le terrain est d'ajouter quelques gouttes de l'huile dans une éprouvette ou dans une fiole remplie d'eau. Une huile à base de PCB va rapidement

« couler » au fond alors qu'une huile conventionnelle ou de silicone flottera au-dessus de l'eau.

6.1.2 LA CONCEPTION DU TRANSFORMATEUR

La forme du transformateur peut donner une bonne indication quant à la présence d'huile contenant des PCB. Beaucoup de transformateurs contenant des PCB étaient à l'origine scellés hermétiquement. Il y a de grandes variations entre les transformateurs issus de fabricants différents, mais il y a quelques particularités typiques communes :

- pour les transformateurs les plus récents, les couvercles sont scellés à la cuve ;
- il n'y a pas de valve de drainage et d'échantillonnage ;
- des vannes de surpression sont souvent utilisées et on y trouve aussi souvent des soupapes de sûreté ;
- des boîtes de barrettes de coupure sont souvent installées pour permettre les essais de câblage sans être obligé d'avoir un accès au transformateur lui-même.

En plus des transformateurs scellés qui utilisent en général des huiles contenant des PCB, il y a les transformateurs sur lesquels se trouvent deux types de raccordement avec l'extérieur :

- a) *Les vannes de drainage et d'échantillonnage.* Il s'est avéré être de plus en plus souvent utile d'intégrer de telles vannes, même dans les cas de transformateurs scellés, situations dans lesquelles on avait estimé auparavant qu'il n'était pas nécessaire de prendre des échantillons de routine de fluide. Des soupapes de compression peuvent être installées pour prendre en compte les augmentations anormales de pression.
- b) *La chambre d'expansion.* Si les transformateurs sont sujets à de fortes variations de température ou si le fluide diélectrique a un coefficient relativement élevé d'expansion thermique, il est nécessaire de mettre une chambre d'expansion. Ces structures, apparaissant comme des sortes de « chapeaux » au haut du transformateur, ne sont pas liées à la présence ou à l'absence de PCB.

6.2 L'IDENTIFICATION DES HUILES CONTENANT DES PCB

Il est important d'identifier de manière précise les fluides contenant des PCB des condensateurs ou des transformateurs. Il suffit idéalement d'une simple test qui peut être fait rapidement, après une prise d'échantillon du transformateur suspecté.

Il n'existe pas de test rapide qui puisse être utilisé pour l'identification des PCB. L'analyse de ces substances est généralement faite dans un laboratoire utilisant différents types d'analyses par chromatographie :

chromatographie en phase gazeuse sur colonne remplie ;

chromatographie liquide sur couches minces ; et

chromatographie liquide à haute performance (HPLC)

De tels tests analytiques sont indispensables si des dosages précis de PCB sont nécessaires. Cependant, les tests quantitatifs ne se justifient généralement pas dans la première étape d'identification du contenu d'un transformateur. Il existe heureusement deux types de méthodes qui peuvent donner une rapide indication, même si elle n'est pas très précise, de la présence et/ou de la teneur en PCB.

- a) *Le test de densité.* A cause de leur contenu en chlore, atome qui est plutôt lourd, les huiles de PCB sont généralement de densité élevée. Cela permet en particulier de les distinguer des huiles minérales. Ces dernières sont généralement plus légères que l'eau. D'un autre côté, les huiles de PCB peuvent avoir un poids volumique atteignant 1,5. Cela signifie qu'une huile de PCB va toujours tomber au fond d'un mélange aqueux, alors qu'une huile minérale aura plutôt tendance à rester en surface.
- b) *Les tests du chlore.* Heureusement, la présence en chlore peut être détectée par des tests chimiques simples. On compte parmi ceux-ci les tests sur bande de papier qui sont sensibles à la présence de chlore. Aussi, lorsqu'un composé contenant du chlore est brûlé en présence de cuivre, il donnera une flamme verte. Ceci est dû au fait que les atomes de chlore forment des petites quantités de chlorure de cuivre à la surface du cuivre et cette substance donne, en se volatilissant, une flamme caractéristique de couleur verte.

Après avoir effectué ces simples tests, il peut être nécessaire de confirmer que le chlore présent est en fait dû à la présence de PCB, et non pas à cause d'une autre substance contenant des atomes de chlore. Cela peut être effectué par une analyse par chromatographie, telle que décrite ci-dessus.

Ces deux tests simples vont donc indiquer la présence en chlore, telle qu'elle existe dans les PCB. Les tests donneront les mêmes résultats avec des huiles minérales chlorées. Celles-ci sont utilisées dans les transformateurs (voir ci-dessus) mais ne présentent pas les mêmes dangers que les PCB ; elles doivent cependant être retirées des équipements électriques. Les huiles non-chlorées de transformateurs ne donneront pas des résultats positifs aux tests décrits ci-dessus.

De plus amples informations portant sur les tests analytiques et les équipements de tests analytiques disponibles sont donnés dans la publication du PNUE [Lignes directrices pour l'identification des PCB et du matériel contenant des PCB.](#)

6.3 L'ENTRETIEN DES TRANSFORMATEURS CONTENANT DES PCB

L'entretien d'un transformateur sera effectué en conformité avec les pratiques standards telles que décrites par le fabricant et paraissant dans les manuels correspondants de l'industrie électrique. Sont présentés ici un aperçu général et les lignes directrices sur les aspects clé de l'entretien de transformateurs.

Les risques possibles qui peuvent se présenter lors du fonctionnement des transformateurs contenant des huiles de PCB sont :

- les risques provenant de fuites d'huiles de PCB ;
- les risques issus d'incendie ; et
- les risques apparaissant à la fin de vie de l'équipement, lorsque le moment est venu de le reclasser.

L'entretien des transformateurs dans ce contexte comprend premièrement des examens et tests réguliers qui pourraient permettre la détection d'insuffisances de quelque aspect que ce soit de la performance du transformateur. En second lieu, l'entretien consiste dans la mise en place d'actions appropriées pour remédier aux défauts identifiés.

Le test le plus simple et le meilleur marché qui puisse être appliqué à un transformateur en fonctionnement ou en stock, est l'examen visuel. Celui-ci sera complété par des tests périodiques de la performance électrique et par des tests chimiques, c'est-à-dire des tests portant sur le fluide diélectrique lui-même, lorsque c'est possible.

6.4 LES FUITES DES TRANSFORMATEURS

Lorsqu'une fuite ou un écoulement a été détecté sur un transformateur, il est nécessaire d'établir la cause de la fuite afin de préparer une action réparatrice.

Le plus souvent, les fuites se situent au niveau des joints et des vannes. Il sera peut-être possible ici d'effectuer des réparations efficaces sans affecter le corps principal du transformateur.

La situation sera plus sérieuse lorsque la fuite ou l'écoulement est dû à un défaut dans la structure métallique du transformateur. Il est nécessaire alors de surveiller régulièrement la surface externe du transformateur afin de s'assurer que tout problème est détecté au plus vite. De telles fuites dues à un défaut dans la cuve métallique du transformateur peuvent provenir de plusieurs causes.

- a) Premièrement, il peut y avoir des dommages mécaniques et accidentels sur la cuve du transformateur. Même si cela ne mène pas à des fuites, le dommage peut rendre la cuve plus sensible à des attaques provenant de l'acidité de l'huile,

en affaiblissant et augmentant ainsi les risques de corrosion, et de là, le risque de fuite.

- b) En second lieu, une lente dégradation de l'huile, décrite ci-dessous, la rendra plus corrosive. Cette acidité peut ensuite causer une corrosion interne aux parties les plus sensibles du transformateur, même si celui-ci paraît être en condition satisfaisante. Ces parties plus vulnérables sont les ailettes de refroidissement du transformateur qui sont fabriquées par pliage, façonnage et éventuellement par soudure. Ces opérations peuvent provoquer des points plus sensibles et affaiblir la structure, ce qui a pour effet d'augmenter les risques de corrosion.

En dehors de la réparation des cuves, si cela est possible, il est nécessaire dans tous les cas de prendre des mesures effectives pour traiter l'huile qui aura été relâchée. Cela signifie qu'il faut collecter tout le matériel contaminé, y compris les gants et les habits utilisés pour effectuer le travail de réparation, et les placer dans des réceptacles appropriés en vue de leur élimination.

6.5 EVALUATION DE LA PERFORMANCE

Les transformateurs doivent être vérifiés périodiquement afin de détecter tout changement qui pourraient indiquer les premiers signes d'une dégradation de la performance du transformateur, et de ce fait, les risques possibles qui en découleraient. La procédure de vérification de paramètres variés comprendra les points suivants :

- a) *La performance électrique.* Il s'agit d'une évaluation directe qui sera effectuée en accord avec les spécifications du constructeur. En général, des changements dans les caractéristiques des entrées/sorties se traduiront par des performances décroissantes. Ces observations sont ainsi essentiellement électriques.
- b) *Le niveau d'huile dans le transformateur.* Certains transformateurs auront des dispositifs directs ou indirects permettant un contrôle des niveaux d'huile. Une diminution du niveau d'huile peut être compensée dans certains cas par l'adjonction d'une huile diélectrique analogue.
- c) *Les changements au niveau des caractéristiques de l'huile.* Ce contrôle nécessite un accès à l'huile du transformateur. Si cela est possible, il est alors nécessaire d'effectuer un certain nombre de mesures de l'huile afin de s'assurer que les propriétés physiques et électriques n'ont pas subi des changements nuisibles. Les tests différents (électriques et chimiques) qui doivent être faits sur l'huile sont décrits ci-dessous.

6.5.1 LES TESTS ELECTRIQUES

Le test *diélectrique* est important pour mesurer le maintien de l'efficacité de l'huile. Le test, effectué avec un équipement de test reconnu et autorisé, mesure la tension à partir de laquelle les propriétés diélectriques s'altèrent.

Le test du facteur de puissance est une indication de la perte en puissance diélectrique de l'huile.

Toute insuffisance à ces propriétés sera une indication que l'huile a subi une dégradation chimique. Ces changements chimiques seront dus à un nombre de facteurs liés à la conception du transformateur et à la manière dont il a été utilisé.

6.5.2 LES TESTS CHIMIQUES

Comme il a déjà été indiqué, un transformateur est une structure complexe qui peut varier considérablement en fonction des constructeurs. Cependant tous les transformateurs ont en commun un système d'ailettes de refroidissement, impliquant des formes complexes avec de nombreuses soudures. Le système de refroidissement est conçu de manière à permettre à la chaleur générée dans l'huile durant le fonctionnement électrique d'être évacuée au travers de ces ailettes de refroidissement. Plusieurs causes de dégradation peuvent se développer dans le système global :

- des trous de la taille d'une tête d'épingle au niveau des soudures conduisant à des influx d'humidité et/ou d'air
- des variations excessives de température dans l'huile, générés par des changements de température ambiante, ou par une circulation insuffisante conduisant à une surchauffe, etc.
- influx d'air et humidité au travers des joints et des valves, etc.

Le résultat de ces incidents est essentiellement de permettre à l'air (l'oxygène) et à l'eau de réagir avec l'huile de PCB, ce qui mène à une dégradation chimique de l'huile. La dégradation chimique peut être détectée et mesurée comme suit :

- a) L'acidité de l'huile reflète une possible oxydation de l'huile provoquée par la présence d'air (peut-être sous l'effet des champs électriques et de la température). L'acidité se mesure au nombre de milligrammes de KOH (hydroxyde de potassium) nécessaires pour neutraliser un gramme d'huile. Une huile neuve devrait avoir un indice d'acidité inférieur à 0,05 mg. Une huile de transformateur est considérée comme inapte à être utilisée si cette valeur s'élève à plus de 4 mg. L'effet de l'acidité sera, bien sûr, de favoriser la corrosion des parties métalliques du transformateur, en particulier les ailettes de refroidissement qui deviennent de plus en plus fines, et de ce fait, plus sensibles à la corrosion que la cuve principale du transformateur.

- b) Le *test d'interface* mesure la tension superficielle entre l'huile et un liquide non miscible tel que l'eau. Lorsque l'huile organique et hydrophobe du transformateur commence à se dégrader sous l'effet de l'oxygène ou de l'eau, elle devient légèrement moins hydrophobe et, de ce fait, l'angle de mouillage avec l'eau se modifie. Ce test peut donc prévoir des diminutions importantes dans la performance électrique de l'huile qui pourraient se produire.

7 SANTE ET SECURITE

La santé et la sécurité lors de manipulations de matériaux contenant des PCB sont de première importance. Le chapitre suivant n'est pas une présentation rigoureuse des mesures à prendre dans ce contexte. Il représente plutôt une série de lignes directrices qui devraient encourager l'opérateur à se référer à des instructions et aux recommandations plus complètes faites par les services locaux de la santé.

7.1 MANIPULATION DES LIQUIDES ET EQUIPEMENTS CONTAMINES PAR LES PCB

7.1.1 LES PRECAUTIONS DE SANTE

Le personnel manipulant des liquides et matériaux contaminés par les PCB doit prendre les précautions suivantes :

- a) Assurer une *ventilation suffisante* dans les aires de travail ; des ventilateurs au niveau du sol devraient être utilisés dans des sous-stations qui sont confinées.
- b) Se couvrir complètement de survêtements de protection ; c'est-à-dire :
 - un vêtement complet d'une seule pièce résistant aux composés chimiques ;
 - des gants résistants aux produits chimiques ;
 - des bottes, ou des protections de chaussures jetables ;
 - un masque anti-poussière approuvé, associé à un compresseur d'air ou de bouteilles à gaz pour assurer un débit d'air positif ; et
 - un masque anti-poussière total muni d'une cartouche de rechange de Type « CC » qui peut être utilisé pour les niveaux faibles d'exposition.

Les symptômes résultant de l'exposition aux PCB sont le chloracné, des irritations des yeux, des vertiges, des maux de tête et de gorge.

En aucune circonstance, le personnel ou les visiteurs ne doivent fumer dans les aires de traitement des PCB.

Des valeurs seuil limites acceptables (Threshold Limit Values : TLV) ne sont généralement pas fixées par la législation. Cependant, nous pouvons citer ici, par

exemple, les niveaux recommandés par le Service de la Santé et Sécurité du Royaume-Uni (HSE) :

- pour 42% de contenu en chlore (par ex. Aroclor 1242) : exposition à long terme : 1 mg/ m³
- pour 54% contenu en chlore (par ex. Aroclor 1254) : exposition à long terme : 0,5 mg/m³

En Allemagne, l'ancien Service fédéral de la Santé recommandait les points suivants :

- Absorption tolérable par jour (Tolerable Daily Intake): 1 mg par kg poids par jour
- Action à entreprendre si le niveau est dépassé : 3'000 mg par m³ d'air
- Objectif : maintenir le niveau au-dessous de 30 mg par m³ d'air.

En cas de déversement de PCB, celui-ci doit être traité avec un matériau absorbant, qui sera placé dans des fûts en acier en vue d'une destruction ultérieure approuvée. Les opérateurs chargés de gérer les déversements devront prendre les précautions médicales de première urgence suivantes :

- si des PCB entrent en contact avec les yeux, il faut immédiatement laver les yeux avec de l'eau pendant au moins 15 minutes et consulter un médecin ;
- si les PCB entrent en contact avec la peau, il convient d'enlever immédiatement tout vêtement contaminé et de nettoyer la peau affectée avec du savon et de l'eau ;
- si le produit est avalé, rincer la bouche plusieurs fois avec de l'eau propre, boire de l'eau et consulter un médecin ;
- en cas d'inhalation, se déplacer vers une zone à air frais et consulter un médecin.

7.1.2 EQUIPEMENT PERSONNEL DE PROTECTION (EPP)

Comme le danger principal lié aux PCB est l'absorption par la peau, une attention particulière doit être portée au choix de vêtements de protection, ce qui comprend les survêtements, les bottes ou les protection de chaussures, les gants et les protections oculaires. Les PCB peuvent pénétrer dans la plupart des matériaux, cependant certains matériaux tels que le caoutchouc naturel sont particulièrement perméables aux PCB et ne conviennent pas comme matériau pour des vêtements de protection. Les caoutchoucs ou élastomères fluorés, résistants aux composés chimiques, sont plus adaptés et les matériaux stratifiés offrent *la meilleure protection contre les PCB*.

Aucun matériau n'est complètement imperméable aux PCB et de ce fait il est nécessaire de s'assurer que les procédures prévoient de changer régulièrement tous les EPP. Le fournisseur en équipement donnera normalement des détails sur la vitesse à laquelle les PCB pénètrent l'équipement protecteur ; cette information sera utile pour estimer, pour chaque opération, le temps que prendront les PCB pour pénétrer et traverser l'équipement protecteur. Ceci est connu sous le terme de temps de pénétration. Il dépendra de la fréquence et de la durée de contact entre l'équipement protecteur et les PCB, et peut varier d'une tâche à la suivante. Le fournisseur devrait être capable de donner des temps types de pénétration pour les différentes applications et de dire s'il est nécessaire de réduire ce temps pour tenir compte d'autres facteurs qui pourraient se produire tels que l'abrasion.

Si des bottes de caoutchouc sont utilisées, elles devront être régulièrement remplacées et la protection du pied renforcée par l'utilisation des protège-chaussures jetables, qui peuvent être portées soit à l'intérieur soit à l'extérieur de la botte.

Pour le travail en laboratoire, des blouses et des gants appropriés jetables sont nécessaires pour protéger de tout contact avec la peau. Si le danger de formation de poussières ou de fumées existe (par exemple généré par un échauffement), il est recommandé d'utiliser des hottes. Il sera nécessaire de traiter tous les équipements de protection ayant de forts risques d'être contaminés comme des déchets contenant des PCB, et de les éliminer en conséquence.

7.1.3 VENTILATION

Une ventilation appropriée permettra de s'assurer que les niveaux de vapeurs ou d'aérosols de PCB ne croissent. Pour les locaux construits sur demande, la ventilation peut être une partie intégrante de l'installation. Pour les autres, ou pour des locaux temporaires, une bonne ventilation générale devrait être suffisante - à condition que l'air soit injecté à un niveau supérieur à celui qui est extrait, favorisant ainsi un courant descendant. Les vapeurs de PCB et les aérosols sont susceptibles d'être plus lourds que l'air et seront donc plus facilement contrôlés par cette disposition. Lorsque une ventilation mécanique est nécessaire, il faudra s'assurer que l'air est extrait au moyen d'un équipement de traitement de l'air qui est équipé d'un système approprié de filtration. Afin de prévenir toute contamination de l'environnement, ces filtres devront être de type à deux étapes : un filtre en tissu ou un filtre électrostatique pourra enlever les aérosols et un filtre au charbon actif filtrera les vapeurs.

7.1.4 EQUIPEMENT DE PROTECTION RESPIRATOIRE (EPR)

Un équipement de protection des voies respiratoires s'avère nécessaire, en particulier si :

- les aires de travail sont peu ventilées ;
- sont présents des congénères de PCB les moins chlorés, plus volatils ; ou

- des aérosols peuvent être produits lors du travail, et les températures peuvent être anormalement hautes.

Il est nécessaire de choisir des EPR qui fourniront une protection adéquate pour les travailleurs. Ces dispositifs doivent être complètement agréés. Si les travailleurs utilisent des EPR non jetables, ils doivent savoir que leur EPR peut se contaminer par les PCB qui pourraient être transférés sur leur visage. Cette contamination peut provenir d'une absorption de PCB suivie du passage à travers le matériau du masque ; plus probablement, c'est une contamination qui se trouve à l'intérieur du masque à la suite d'une mauvaise manipulation et de mauvaises conditions de stockage pendant les périodes de non utilisation. Il faut s'assurer que les travailleurs soient au courant de ces risques, et ils doivent être mis au courant des méthodes qu'on peut appliquer pour les réduire, par exemple par des nettoyages et entretiens efficaces de leur EPR. Il faut noter que des équipements jetables de protection respiratoire sont maintenant en phase de développement.



Travailleurs équipés de vêtements de protection lors de travaux sur un transformateur PCB

7.2 SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE

Dans les locaux où l'on manipule des PCB, il est nécessaire de contrôler les niveaux de solvants chlorés. Dans la pratique, de tels solvants ne seront pas les PCB eux-mêmes, qui ne sont que très peu volatils à température ambiante. Il s'agira plutôt d'autres solvants similaires souvent utilisés en liaison avec les PCB : des solvants à base d'hydrocarbures chlorés qui ont une odeur caractéristique. Ils seront de préférence contrôlés de manière automatique et en continu, avec un dispositif d'alarme qui se déclenche par exemple lorsqu'une teneur de 20 ppm de solvant chloré dans l'air de l'atelier est atteinte.

Il est aussi possible d'utiliser un système manuel moins cher pour effectuer des prélèvements ponctuels. De tels dispositifs sont des petits tubes qui changent de couleur en présence de vapeurs chlorées. Des échantillons d'air sont aspirés à travers le tube à un débit donné.

La mesure de PCB dans l'air ambiant est techniquement possible mais elle est difficile et délicate car elle doit être effectuée en deux étapes : par échantillonnage suivi d'une analyse dans un laboratoire équipé pour exécuter l'analyse.

7.3 FUITES ET DEVERSEMENTS

7.3.1 ACCIDENTS

Dans le cas peu probable d'un accident, d'une fuite ou déversement pendant le transport, certaines mesures d'urgence doivent être prises immédiatement. On doit veiller en tout premier lieu à ce qu'aucune personne non autorisée ne s'approche de la zone affectée.

Si le PCB liquide fuit d'un véhicule ou d'un emballage endommagé ou qui est renversé, les chauffeurs et/ou le personnel de sécurité doivent s'efforcer de contrôler la propagation des liquides. On doit tout faire pour empêcher que le produit atteigne les égouts, les ruisseaux ou autres cours d'eau. Dès que cela est possible, le responsable du chauffeur ou toute autre officiel responsable devra être informé. Il ne faut pas laisser le véhicule sans surveillance, et ceci jusqu'à ce que le déversement soit complètement nettoyé.

Si l'opérateur du véhicule est frappé d'incapacité, les services d'urgence doivent se fier aux documents d'expédition afin d'identifier le type et les quantités de matériaux dangereux transportés. Ces documents doivent rester sur le siège du chauffeur ou dans la portière du côté du chauffeur. Dans tout accident, une intervention opportune et bien faite peut aider à éviter qu'un accident mineur ou déversement ne se transforme en catastrophe majeure.

Le transport des PCB est l'un des secteurs avec le plus haut risque potentiel de déversements ou de fuites. La plupart des problèmes se produisent pendant le chargement ou le déchargement du véhicule. Les aires de chargement doivent être équipées de matériaux adéquats pour répondre aux déversements et des mesures appropriées devront être prises en cas de besoin. Tout mouvement ultérieur des déchets contaminés sera exécuté en conformité exacte avec les dispositions de la Convention de Bâle sur les mouvements de déchets toxiques.

7.3.2 FUITES DES TRANSFORMATEURS

Dans le cas d'une fuite d'un liquide à partir d'un transformateur ou condensateur, les mesures suivantes seront prises.

- 1) Une équipe devra *réagir immédiatement* dès la connaissance d'une fuite ou d'un déversement de PCB.
- 2) Le personnel impliqué dans la manipulation de PCB et/ou engagé dans les opérations de nettoyage se munira de *vêtements personnels et équipement de protection* afin d'empêcher qu'une contamination des vêtements ou de la peau par les PCB ne se produise.
- 3) Il est très important d'empêcher tout liquide de PCB d'atteindre les égouts par la voie des eaux de pluie ou eaux usées, des canalisations d'évacuation, des fosses ou tout autre endroit où coule de l'eau. L'équipe responsable de la gestion de l'incident doit étudier toutes les possibilités disponibles pour pouvoir retenir les déversements de PCB, y compris par des détournements temporaires ou l'utilisation de murs de rétention. De plus, l'équipe devra empêcher que l'eau provenant des systèmes de crépines d'incendie ou des écoulements de caniveaux de rue, ne s'écoulent vers la zone contaminée et, dans la mesure du possible, devra anticiper de tels événements. Tout effort raisonnable devra être fait pour arrêter ou retarder le mouvement des PCB qui ont été libérés et pour contenir les liquides contaminés qui ont été déversés ; ceci avec l'aide de personnel, d'équipement et aussi de matériel qui est déjà présent sur le site ou disponible rapidement.
- 4) Si les déversements atteignent quand même les cours d'eau de toute nature ou des endroits inaccessibles, le premier employé arrivant sur place devra entamer immédiatement des procédures de notification, et aussi mettre en place des mesures visant à *prévenir tout déversement supplémentaire de produits contaminés vers les cours d'eau ou les sols voisins*.
- 5) *Des barricades* devront être placées autour des zones contaminées pour empêcher les piétons et les véhicules d'entrer jusqu'à ce que les déversements aient été nettoyés et enlevés.
- 6) Dans la plupart des cas, *des produits absorbant l'huile* s'avéreront être un outil précieux pour le nettoyage. Si l'on utilise de tels matériaux, ils devraient être répandus

sur les surfaces contaminées et laissés en place pour au moins une heure, ou aussi longtemps qu'il est nécessaire pour être sûr que les liquides PCB aient été absorbés.

7) Quand les liquides déversés auront été absorbés, les matériaux absorbants devront être placés dans des *conteneurs en acier*, mis à disposition exprès pour ces opérations d'élimination.. Si les conditions sont telles qu'il n'est pas possible de déterminer la profondeur de pénétration des PCB dans le sol, il faudrait alors enlever au moins 15 cm de terre.

8) Toutes les surfaces exposées aux liquides déversés devront être *décontaminées au moyen de tampons* imbibés d'un solvant efficace, tel que le trichloréthane par exemple.

9) *Tous les objets contaminés : structures métalliques, râteliers en bois, goulottes à câble (de tout type)* devront aussi être lavés au solvant. Tous les équipements sur ces structures qui auraient pu être contaminés par les déversements ne seront pas enlevés mais devront être nettoyés de la même manière. On fera attention en utilisant le solvant de ne pas étendre la contamination aux équipements, véhicules, etc. qui se trouvent dans la zone contaminée.

10) *Tous les types de structures, bâtiments, véhicules privés, etc.* qui pourraient être contaminés seront lavés au jet avec un solvant (en prenant soin que le solvant n'altère pas le vernis des véhicules). Toutes les mesures nécessaires devront être prises pour empêcher le solvant et les PCB d'arriver dans les égouts ou autre système de drainage.

11) *Tous les objets contaminés, y compris les outils, vêtements, chaussures et autre équipement* doivent être soit nettoyés à fond avec un solvant là où c'est pratique, soit éliminés dans des conteneurs en acier qui seront mis à disposition pour les besoins de l'élimination.

12) *Tous les fûts* seront clairement identifiés et stockés, ou bien chargés sur un véhicule. Il faudra bien arrimer les fûts pour prévenir tout déversement additionnel.

13) Le *véhicule transportant les fûts* doit aussi être étiqueté en conformité avec les procédures sur le transport.

14) Les *conteneurs* devront être emmenés directement vers le site de stockage agréé pour être ultérieurement envoyés vers un site de destruction.

15) Dans le cas de déversements importants dans des zones fortement peuplées, *la zone touchée sera continuellement surveillée par des personnes sur place* jusqu'à ce que la totalité de l'huile de PCB déversée ainsi que tous les produits de nettoyage auront été enlevés du site, bien emballés dans des fûts, ou autrement neutralisés.

16) *S'il se produit un contact entre la peau et les PCB* un produit détergent sans eau devra être utilisé pour enlever l'huile, et ensuite éliminé d'une manière appropriée. Si l'œil est atteint, il devra être soigneusement nettoyé avec de l'eau, et les conseils d'un médecin sollicités.

17) *Les déversements dans l'eau* nécessitent une attention particulière.

8 RECLASSEMENT DES TRANSFORMATEURS

Lorsqu'il aura été décidé que l'état d'un transformateur n'est plus compatible avec les contraintes d'une utilisation dans des conditions de gestion qui soient écologiquement rationnelles (telles qu'elles peuvent être fixées par la réglementation), il devient nécessaire d'étudier les différentes voies à disposition pour résoudre ce problème. Deux raisons principales peuvent amener au reclassement d'un transformateur :

a) On trouve dans le transformateur une teneur en PCB qui dépasse les niveaux qui sont admis par la réglementation régionale ou nationale. L'équipement est cependant dans un état satisfaisant des points de vue électrique et mécanique, ce qui justifie la poursuite de son utilisation. Dans de tels cas, on peut envisager de vidanger le transformateur de son huile et de remplacer l'huile par une huile exempte de PCB : le *retrofilling*.

On constate que le transformateur ne répond plus aux spécifications liées à son fonctionnement, par exemple à cause d'une performance électrique déficiente, une condition mécanique insuffisante, ou la présence de fuites. Dans ces cas, le transformateur doit être *remplacé* par un nouvel équipement, et doit être également *éliminé* par des méthodes qui sont en conformité avec la législation correspondante.

Note : Dans de nombreux pays, on a trouvé deux raisons pour expliquer la présence de PCB dans un transformateur. La première est que le transformateur a été conçu et construit pour être utilisé avec une huile PCB. Ce sont ces cas qui ont été pris en considération jusqu'ici dans ce rapport. L'expérience a montré cependant que de nombreux transformateurs vendus ou étiquetés comme étant des transformateurs exempts de PCB peuvent en fait contenir des PCB. La raison est que beaucoup de transformateurs à huile conventionnelle ont subi une contamination croisée. En Europe, la proportion de tels transformateurs peut atteindre 45 %. Ceci est dû au fait que les installations utilisées pendant de nombreuses années pour le remplissage des transformateurs ont souvent été utilisées pour remplir les deux types de transformateurs : avec et sans huile de PCB. Une contamination croisée s'est ainsi produite et un transformateur étiqueté comme contenant de l'huile conventionnelle peut très bien contenir plus de 0.005 pour cent (50 ppm) de PCB, ce qui est la limite extrême fixée dans l'Annexe A de la Convention de Stockholm. Dans de tels cas c'est le *retrofilling* qui représente la méthode pratique pour réduire les niveaux de PCB à moins de 0.005 pour cent.

9 LE RETROFILLING DE TRANSFORMATEURS

Le retrofilling d'un transformateur signifie que le transformateur est vidé de son fluide diélectrique qui est ensuite remplacé par une nouvelle huile exempte de PCB. Comme il l'a déjà été mentionné, cette opération peut durer un certain temps car l'intérieur d'un tel équipement est complexe. Un problème plus sérieux est le fait que le transformateur contient normalement des parties en papier et en bois. Ces matériaux sont poreux et retiennent l'huile contaminée. Il n'est donc pas possible, dans un temps relativement court, d'éliminer toute huile contaminée. Le résultat est que lorsqu'on y introduit une huile propre, exempte de PCB, il se produit une diffusion de l'huile contaminée qui s'extrait lentement hors des parties poreuses. Pendant une période de plusieurs semaines, voire plus, le niveau mesuré de PCB dans la nouvelle huile peut augmenter lentement, peut-être au-dessus des valeurs admises par la réglementation.

Le temps nécessaire pour que cette diffusion dans l'huile soit terminée, la fin donc de toute émission de PCB dans la nouvelle huile, dépend beaucoup de la taille et de la structure de l'équipement. Cependant, dans certains cas, il sera peut-être nécessaire d'entreprendre plusieurs opérations de retrofilling successives, et ceci sur une période de plusieurs mois.

Dans certains cas il est possible d'effectuer un retrofilling d'un transformateur pendant qu'il est sous charge. Ceci est normalement fait dans les cas où l'équipement est inaccessible, par exemple sur des plate-formes de forage.

Une décision concernant l'opportunité de procéder à une opération de retrofilling prendra en considération des facteurs locaux. Ceux-ci concerneront essentiellement le coût d'une telle opération, en tenant compte des coûts d'élimination des matériaux contaminés, et en comparant avec le coût d'acquisition d'un nouveau transformateur, si le premier doit être éliminé. On tiendra également compte de la législation en vigueur sur les niveaux de concentration de PCB autorisés dans les transformateurs. Ceux-ci se situeront probablement autour de 50 ppm, comme dans la plupart des pays aujourd'hui. Les Parties signataires de la Convention de Stockholm se verront dans l'obligation d'arrêter l'utilisation de PCB dans les équipements tels que les transformateurs et condensateurs à partir de 2025. Elles seront également dans l'obligation de faire des efforts soutenus pour assurer une gestion écologiquement rationnelle des liquides contenant des PCB et des équipements contaminés par des PCB (teneurs en PCB supérieures à 0.005 pour cent) dès que possible et de toute manière au plus tard en 2028. Voir l'extrait de la Convention reproduit dans l'Annexe A de cette publication.

9.1 LISTE DE CONTROLE POUR LA DECISION DE RETROFILLING

Il faudra tenir compte d'un grand nombre de facteurs avant qu'une décision concernant le retrofilling ne puisse être prise :

- 1) *Quel est l'ancienneté de l'équipement ?* Un transformateur peut avoir une durée de vie effective d'environ 30 ans ; est-ce que la période résiduelle d'utilisation justifie un retrofitting ? Les retraits progressifs d'équipements de service, prévus par la Convention de Stockholm, devront être pris en compte.
- 2) *Quel est l'état du transformateur ?* La performance électrique du transformateur est-elle encore satisfaisante ? Y a-t-il des signes de fuites, quel est l'état des joints, y a-t-il de la rouille, etc. ?
- 3) *Quelle sera la période effective de mise hors service pour l'équipement ?* Si l'on retire le transformateur, quel sera l'impact d'un arrêt de courant électrique ?
- 4) Quels sont les effets possibles sur les utilisateurs en aval, si on retire le transformateur de service?
- 5) *Y aura-t-il des résultats positifs en terme de la perception du grand public si le transformateur est décontaminé ?* Le fait qu'on n'utilise plus de PCB aura certainement un effet marqué sur les personnes et populations vivant proche du site.
- 6) *Existe-t-il une technologie facile d'accès pour l'opération de retrofitting ?* Est-elle disponible proche du site ou bien nécessite-t-elle le transport du transformateur vers le site de retrofitting ?
- 7) *Existe-t-il des fluides de remplacement appropriés, en vue des caractéristiques du transformateur ?* Les huiles électriques ne sont pas complètement interchangeables. Le transformateur aura été conçu pour utiliser une huile particulière et il faudra sélectionner une huile similaire exempte de PCB, ou bien il sera peut-être nécessaire d'apporter des modifications dans la conception du transformateur.
- 8) Une opération de retrofitting réduira-t-elle vraiment la teneur en PCB de l'huile, compte tenu de la rétro-diffusion de PCB des parties poreuses du transformateur ? Comme il l'a déjà été expliqué, l'évacuation complète de PCB de l'intérieur d'un transformateur peut être un processus très long. Cette exigence de temps pourrait être un facteur important dont il faudra tenir compte.
- 8) *Comment pourra-t-on éliminer l'huile contaminée du transformateur ?* Le retrofitting suppose l'enlèvement de l'huile et sa décontamination. Une telle technologie de décontamination peut être montée proche du transformateur lui-même. Si ce n'est pas le cas, il faudra transporter l'huile vers le site d'élimination ; les conditions de transport d'un tel produit toxique devront respecter les dispositions de la Convention de Bâle concernant les mouvements de matières toxiques.
- 9) *Quels autres déchets générés par l'opération de retrofitting (vêtements, sciure, torchons, etc.) seront à éliminer ?* De tels déchets dangereux, bien que n'étant pas produits en grande quantité, peuvent poser de vrais problèmes d'élimination. Les technologies citées dans les publication du PNUE mentionnées ci-dessus, et applicables à des produits bien définis (équipements, huiles) ne sont pas appropriées pour la décontamination ou l'élimination de telles matières. On pourra conclure alors que c'est

l'incinération qui représente la seule solution possible. Si on prévoit un transport vers un incinérateur à haute température ailleurs, il faudra dans ce cas-là également tenir compte des dispositions de la Convention de Bâle.

10) *En tenant compte de tous ces facteurs, quel sera le coût total de l'opération ?* Il faut évidemment procéder à un calcul des coûts de l'opération de retrofilling ; ceci sera fait en fonction des conditions locales. Le point important cependant est de tenir compte de chacun des éléments de coûts liés à cette opération.

9.2 CARACTERISTIQUES NECESSAIRES POUR LES HUILES DE REMPLACEMENT

Les huiles de remplacement des PCB sont utilisées dans deux contextes différents :

- a) pour le *remplissage de transformateurs neufs* : ici les caractéristiques du transformateur sont fixées en tenant compte des propriétés principales de l'huile: poids volumique, viscosité et le coefficient de dilatation thermique en particulier ; et,
- b) pour le *retrofilling de transformateur déjà en service* : dans ce cas, l'huile sélectionnée doit avoir des caractéristiques compatibles avec celles du transformateur pour assurer que ce dernier puisse fonctionner correctement avec l'huile nouvelle, comme il est indiqué ci-dessus.

Cette publication se rapporte au deuxième cas : lorsque l'on connaît les caractéristiques du transformateur, on choisit l'huile en fonction de ces paramètres. La sélection d'une huile de remplacement pour le retrofilling sera donc effectuée en prenant en compte les paramètres suivants :

- 1) *les caractéristiques électriques*. En principe, celles-ci ne présentent pas de problème. La constante diélectrique, la tension de rupture, etc. sont choisies en fonction de ce qui est nécessaire au vu des conditions d'utilisation du transformateur ;
- 2) *la résistance au feu*. Il faut se rappeler que les huiles de PCB ont été introduites il y a de nombreuses années à un moment où les risques d'incendie dans les installations étaient considérés comme étant très importants. L'utilisation de PCB s'est vite répandue car ces produits étaient considérés comme ayant une bonne résistance au feu, et également très bons sur le plan des propriétés électriques. Cependant ces huiles étaient aussi utilisées dans les cas où leur résistance au feu n'était pas d'une importance primordiale ; les huiles étaient en quelque sorte « surqualifiées » pour les utilisations envisagées.
- 3) *la densité*. La densité d'une huile de remplacement pourrait présenter un problème si elle s'avère être nettement plus élevée que l'huile d'origine. Les PCB ont cependant des poids volumiques importants et dès lors, un changement pour une huile de densité plus faible ne devrait pas causer de problème mécanique dans le transformateur.
- 4) *Coefficient d'expansion thermique*. Cette propriété est d'une grande importance. Non seulement les transformateurs sont appelés à être utilisés dans des conditions climatiques différentes, mais le fonctionnement du transformateur lui-même mène à des pertes électriques qui apparaissent sous forme de chaleur. Des changements notables de température peuvent donc se produire. Il est essentiel que le transformateur soit conçu de manière à pouvoir supporter les changements de volume de l'huile résultant de ces variations de température.

5) *Viscosité.* Un transformateur est conçu premièrement pour permettre des changements de champ électrique avec des pertes électriques minimales et, en second lieu, pour refroidir l'huile qui absorbe les pertes d'énergie en générant de la chaleur. Cette chaleur est éliminée en faisant circuler l'huile au travers d'aubes de refroidissement. Celles-ci constituent une partie essentielle de la conception du transformateur. Le mouvement de liquide à travers ces petits canaux est plus efficace pour des huiles à viscosité plus faible. La variation de la viscosité avec la température est donc aussi un facteur important.

6) *Point d'éclair et inflammabilité.* Bien que le point d'éclair et le point de feu de l'huile de remplacement ne se rapprocheront pas de ceux des huiles de PCB, on devrait les choisir aussi bas que possible.

7) *Sous-produits de combustion.* Ce facteur ne sera peut-être pas déterminant dans le choix d'une huile, mais le comportement de l'huile lors de sa combustion devra être connu. Pour prendre des cas extrêmes, on peut dire qu'en général, une huile à base d'hydrocarbures brûlera pour générer des sous-produits sans danger tels que l'eau, le CO₂, etc., si elle brûle dans des conditions idéales (bien que des fumées noires puissent être produites dans les cas où il y a une insuffisance d'oxygène). Par contre, une huile aux silicones produira de la silice et donc une épaisse fumée blanche lors de sa combustion. On peut noter que les PCB ont une bonne résistance au feu grâce à la présence de chlore, un élément qui retarde la combustion et qui est souvent utilisé dans les produits ignifuges.

8) *Considérations environnementales.* Une huile destinée à remplacer les huiles de PCB doit évidemment ne pas présenter les mêmes inconvénients que les PCB du point de vue environnemental. Elle sera donc non toxique. La caractéristique principale que l'on recherche est la biodégradabilité, notion qui exprime la caractéristique de huile, si elle est répandue, de se décomposer lentement dans l'environnement par des processus naturels, en particulier ceux qui font appel à des micro-organismes et à la lumière. De plus, les produits de combustion ne devront pas présenter de danger particulier du point de vue de leur toxicité.

9.3 AUTRES CONSIDERATIONS

Les huiles de substitution disponibles aujourd'hui sur le marché sont évidemment toutes convenables pour être utilisées dans les équipements électriques. Cependant elles pourraient ne pas être appropriées pour une application donnée, par exemple dans un transformateur utilisé dans des conditions particulières. La raison en est que les transformateurs varient énormément dans leur conception et que ces différents modèles nécessitent une huile ayant des propriétés spécifiques.

Un transformateur peut être soit scellé hermétiquement, soit être du type à « respiration » ; ceci veut dire un transformateur qui n'est pas complètement fermé et qui peut être équipé d'une chambre d'expansion qui permette d'encaisser des variations de densité, et donc de volume, en fonction de la température.

Dans le cas de transformateurs qui peuvent s'accommoder des changements de température, et ceci se voit par la chambre d'expansion qui est située à l'extérieur du transformateur (souvent au-dessus), il est possible d'utiliser une huile avec un coefficient de dilatation thermique relativement élevé. La conception du transformateur permettra dans ce cas d'absorber les effets des changements de température.

Dans le cas d'un transformateur scellé cependant, il est indispensable de choisir une huile avec le même coefficient de dilatation thermique que l'huile d'origine afin d'éviter la génération de pressions internes élevées lorsque la température augmente.

9.4 MESURES DE CONTROLE POUR LE RETROFILLING

9.4.1 LA MANIPULATION DE TRANSFORMATEURS CONTENANT DES PCB

Il est préférable de vider les transformateurs sur le site avant de les transporter à l'endroit prévu pour le retrofilling. Il faut que le liquide contenant des PCB soit transféré dans des fûts métalliques de bonne qualité pour le transport vers le site de décontamination. Il est conseillé d'avoir à disposition des matériaux absorbants pour faciliter la gestion de tout déversement qui pourrait se produire. Afin de diminuer les effets potentiels d'exposition aux liquides, toute manipulation manuelle, telle qu'une décantation par exemple, doit être évitée dans la mesure du possible. Il est préférable d'effectuer le pompage du liquide mécaniquement. Il sera bien sûr nécessaire de porter des vêtements de protection personnels (PPE) pendant ces opérations afin d'éviter une absorption cutanée. Pendant les opérations de drainage, il faudra absolument éviter toute éclaboussure ou déversement. Des précautions sont à prendre pour éviter également que des fuites et débordements ne se produisent, ni ne se propagent. Des équipements de protection respiratoire seront indispensables si la ventilation est insuffisante.

9.4.2 MISE EN PLACE D'AMENAGEMENT POUR LA MANIPULATION ET LE DEMONTAGE D'EQUIPEMENTS CONTENANT DES PCB

Il est recommandé de s'assurer que les installations centrales sont divisées en deux zones : l'une « propre » et l'autre « sale », séparées par une zone pour les vestiaires. Toutes les zones propres ou celles qui servent de vestiaire devront être munies de surfaces lisses et imperméables. Les transformateurs et condensateurs devront être démontés uniquement dans la zone dite « sale ». Cette zone devrait être bien définie et séparée des autres, de préférence dans une pièce à part. Les places de travail dans la zone « sale » doivent être recouvertes d'une matière lisse et imperméable, avec des bords surélevés pour retenir tout déversement. Les sols de ces zones sales seront construits, ou recouverts, d'une matière lisse et imperméable, et seront entourés d'une cuvette de rétention pour les fuites éventuelles. La surface à l'intérieur de la cuvette de rétention ne devra être raccordée à aucun réseau d'écoulement public. Il y aura une ouverture suffisamment grande pour permettre l'arrivée de transformateurs et de condensateurs dans la zone « sale ». Afin de réduire les possibilités d'une

contamination par retour, cette ouverture sera protégée par des bandes en plastique (ou par d'autres moyens appropriés).

Avec le temps, le sol de la zone « sale » sera vraisemblablement contaminé par les PCB, en particulier si le béton est fissuré ou endommagé. Suivant l'importance du travail à effectuer, il faudra peut-être enlever le matériau du sol périodiquement, ou peut-être simplement quand ce sol n'est plus utilisé pour un travail avec des PCB. La durée de vie du sol peut être étendue en utilisant des paillassons en bois ou en fibre lorsqu'on démonte de grands transformateurs. En plus de cet apport de protection physique au sol, ces paillassons absorberont aussi de petits déversements ou ruissellements de PCB. Les planchers et paillassons contaminés devront être considérés et traités comme des déchets contaminés par les PCB, et ceci pourrait poser un problème. L'accès de personnes aux surfaces de travail se fera uniquement à travers la zone vestiaire. Il est recommandé que cette surface vestiaire comprennent :

- une entrée du côté propre ;
- une zone douches / toilettes ;
- un côté « sale » ou l'on peut revêtir les PPE ; et
- une sortie vers la zone de travail.

Il sera peut-être nécessaire de prévoir une surface pour les pauses de travail diverses. Cette zone sera d'accès limité. Personne portant des vêtements de protection contaminés n'y serait admis. Dans la zone douches/toilettes, des casiers individuels devront être fournis pour permettre le stockage de vêtements propres.

9.4.3 PRECAUTIONS NECESSAIRES LORS DU DEMONTAGE D'EQUIPEMENT CONTENANT DES PCB

Lorsque des *transformateurs scellés* sont démontés (pour permettre l'accès aux parties actives) il existe la possibilité que des vapeurs, fumées ou aérosols contenant des PCB soient générés. Des procédures de travail devront être mises au point pour minimiser la production de ces produits. Par exemple, plus la température croît, plus élevée sera la tension de vapeur des PCB et donc la possibilité de générer des vapeurs. Cet effet peut être très marqué à haute température. La tension de vapeur du Aroclor 1260, par exemple, augmente d'un facteur de dix entre 300°C et 600°C et celle du Aroclor 1248 augmente cent fois entre 0°C et 500°C. Il y a aussi des indications que sous certaines conditions, des températures entre 200°C et 450°C peuvent mener à la formation lente de furannes, et qu'à des températures plus élevées, entre 450°C et 700°C le dibenzofuranne peut être formé. A cause de cela, il est clair que toutes sortes d'opérations de coupes à la flamme ou de soudage devraient être évitées dans la mesure du possible. Non seulement la chaleur de la flamme fera évaporer les PCB à la surface de la pièce traitée, mais elle se propagera pour atteindre les endroits proches et augmentera encore la vaporisation des PCB qui s'y trouvent.

Les condensateurs doivent être percés et vidés (s'ils contiennent des liquides) de manière qui limite la production d'aérosols et de vapeurs. Si ce processus est automatisé, des tests pourront confirmer que tout aérosol ou vapeur est bien confiné dans les zones aux alentours de l'endroit de travail, où le risque est faible que du personnel s'y trouve. *Si* cette opération est faite manuellement il sera alors nécessaire de prévoir une ventilation locale adéquate.

Un découpage mécanique de l'équipement est la solution préférée, mais il ne faut pas oublier que cette opération peut générer de la chaleur ou mener à la formation d'aérosols. Ces effets sont plus prononcés lorsque les vitesses de coupe sont élevées. Il est donc recommandé que dans le cas d'une découpe mécanique, les vitesses de coupe soient réduites autant que ce qui est compatible avec l'opération à réaliser.

9.4.4 LA VIDANGE DE TRANSFORMATEURS CONTENANT DES PCB

Il ne faut pas oublier que même quand de grands soins sont pris pour sortir la plus grande quantité possible de l'huile du transformateur, et en accordant une période de deux heures pour que l'huile puisse s'égoutter des surfaces des enroulements, il restera de l'huile piégée à l'intérieur du noyau et des bobinages. Dans le cas des transformateurs de distribution, on trouve qu'il y a généralement une rétention de 10 % dans le noyau et bobinages et que la contamination par les PCB atteint un équilibre avec la nouvelle huile après une période de 90 jours en cycles de charge. Donc si l'huile de départ accusait une teneur de 500 ppm, une opération de retrofilling avec de l'huile propre stabilisera le système à une teneur de 50 ppm en PCB après 90 jours.

9.4.5 PRECAUTIONS NECESSAIRES POUR LE RINÇAGE D'EQUIPEMENTS EN VUE D'ENLEVER LES PCB

Si les transformateurs ont été bien rincés avec un solvant, il doit être tenu compte d'une éventuelle exposition à ces solvants et des mesures appropriées doivent être prises. Une réduction de cette exposition peut être réalisée en augmentant la ventilation aux postes de travail, également en adaptant les procédures de travail pour réduire la nécessité d'avoir des opérateurs présents pendant l'opération de rinçage. L'utilisation de PPE doit être considérée comme un dernier recours de protection contre les risques résiduels.

9.4.6 LA MANIPULATION DE CONDENSATEURS CONTENANT DES PCB

Il est préférable d'enlever les condensateurs de leur site d'utilisation comme entités complètes pouvant être placées dans des conteneurs métalliques ; ceux-ci seront scellés en attendant leur transport vers un site de stockage agréé ou vers une unité d'élimination autorisée. Les condensateurs présentant des signes de fuites nécessiteront une attention particulière pendant leur manutention. Il est recommandé que les fuites d'huiles soient traitées avec de la sciure, du sable ou de la terre, et que les matériaux absorbants contaminés soient stockés dans des conteneurs métalliques en vue de leur élimination.

Comme les condensateurs sont susceptibles de contenir des congénères plus volatils, des déversements importants ou des fuites dans des locaux confinés nécessiteront peut-être une protection respiratoire, aussi bien que des mesures pour la protection de la peau.

10 FLUIDES DE SUBSTITUTION POUR LE RETROFILLING

De nombreuses huiles de substitution peuvent être utilisées pour le retrofilling de transformateurs. Il faut noter que le choix du produit dépendra non seulement des caractéristiques de l'huile mais aussi de diverses considérations d'ordre locales et régionales. Par exemple, des huiles à base de silicones sont utilisées dans certains pays mais pas d'autres, même si ces pays ont la même législation industrielle et environnementale. Des exemples de différentes catégories de fluides de substitution qui peuvent être pris en considération sont exposés ci-dessous.

10.1 HUILES MINERALES

Celles-ci sont en fait des huiles « conventionnelles » qui peuvent être, et ont été, utilisées dans les transformateurs. La différence principale avec les huiles aux PCB précédemment utilisées est bien sûr leur plus grande inflammabilité. Cependant, si une analyse plus approfondie des risques liés au feu pour certaines applications conclut à une réduction de ces risques, cela pourrait justifier l'utilisation d'une huile à plus forte inflammabilité.

Certain transformateurs, à cause de la manière dont ils fonctionnent et du lieux où ils se trouvent, peuvent assumer un risque au feu plus élevé, par exemple pour des applications en plein air. Donc les huiles conventionnelles à base d'hydrocarbures peuvent être considérées comme des substituts pour les huiles contenant des PCB dans des situations bien définies. La décision de ce faire dépendra d'une analyse des avantages et désavantages relatifs, du point de vue de l'environnement, des risques de feu, des coûts et de la législation.

Plusieurs types de ces huiles conventionnelles sont proposés par les grandes sociétés pétrolières et par de plus petites entreprises spécialisées.

10.2 HUILES AUX SILICONES

Ces huiles ne contiennent pas de chlore ; ce sont des substances organo-siliconées. Elles sont utilisées dans les nouveaux transformateurs en Europe et aux Etats Unis. Leurs propriétés cependant ont une influence dans leur mode d'emploi dans le cas du retrofilling :

1) Les huiles à base de silicones sont particulièrement sensibles à l'eau et il est important d'en tenir compte lors de leur manipulation. La teneur maximale en eau est de 50 ppm.

- 2) Le transformateur doit être complètement scellé à cause de cette sensibilité à l'eau.
- 3) La performance plus faible nécessite l'application d'une réduction du facteur de charge d'environ 7 % des transformateurs après la conversion. Cela veut dire qu'il faut faire fonctionner le transformateur à un facteur de charge plus faible.
- 4) Le coefficient de dilatation thermique est plus grand que celui de l'huile d'origine contenant des PCB et ceci oblige à apporter des modifications au transformateur pour permettre à son huile de se dilater sans endommager la cuve.
- 5) Il est plus difficile de faire éliminer une huile silicone contaminée par les PCB qu'une huile sans silicone. Ceci est dû au fait que pendant l'incinération, il se forme de la silice (une poudre d'oxyde de silicium) autour des brûleurs, ce qui peut créer des problèmes lors du lavage des gaz de combustion.
- 6) Il sera peut-être nécessaire de changer les vannes de prélèvement du transformateur. Lorsque des huiles aux silicones sont utilisées dans des transformateurs neufs, la conception du transformateur peut tenir compte de ces différentes propriétés par rapport aux huiles contenant des PCB. Cependant quand elles sont utilisées comme fluides de substitution dans un transformateur existant, il sera nécessaire de modifier le transformateur pour tenir compte de ces différentes propriétés, en particulier en ce qui concerne le coefficient de dilatation thermique. Ceci veut dire que les huiles silicone sont plus difficiles à adapter, et donc plus chères, si on veut les utiliser comme huiles de substitution.

Il faut noter qu'il ne faut absolument pas mélanger des huiles de transformateurs normales avec des huiles aux silicones ; les deux fluides ne sont pas compatibles.

10.3 LES HUILES SYNTHETIQUES A ESTER

Ces huiles sont des huiles de substitutions reconnues avec des propriétés intéressantes. Elles ont des avantages marqués par rapport à beaucoup d'autres produits, en particulier :

- il n'est pas nécessaire d'appliquer une réduction du facteur de charge après la conversion
- les caractéristiques électriques sont bonnes ; et
- elles permettent une qualification plus élevée des transformateurs qui seront dès lors considérés comme moins inflammables.

Un inconvénient des huiles synthétiques à ester est leur prix plus élevé.

Diverses autres huiles ont été proposées, par exemple, quelques produits à base d'hydrocarbures chlorés. Bien que ceux-ci ne soient pas des PCB, de tels produits contiennent du chlore et, à ce titre, sont utilisés de moins en moins. Il existe aussi des huiles naturelles obtenues à partir de sources de biomasse.

Quelques propriétés clé de ce type d'huiles de substitution sont présentées dans le Tableau 1. Le Tableau 2 montre les spécifications des huiles de substitution telles que fixées par trois commissions de normes différentes ; quelques variations sont à noter entre ces spécifications.

Une sélection de fiches techniques de quelques huiles qui peuvent se substituer aux huiles contenant des PCB est donnée en Annexe B. Cette sélection n'est évidemment pas exhaustive ; on trouvera d'autres produits sur le marché. Ces fiches montrent cependant que les propriétés des huiles de substitution peuvent varier considérablement, et qu'il sera nécessaire d'opérer une sélection dans chaque cas en fonction des caractéristiques opérationnelles du transformateur faisant l'objet d'un retrofitting.

Tableau 1: Propriétés de base des huiles de substitution

	Huile minérale	Huile aux silicones	Hydrocarbure haut pds. moléculaire	Ester synthétique	Ester naturel
Rupture diélectrique (kV)	45	40	52	43	56
Viscosité (cSt)					
40° C	9,2	39	113	29	33
100° C	2,3	17	12	5,6	8
Point d'éclair (°C)	147	300	276	270	324
Point de feu (°C)	165	343	312	306	360
Chaleur spécifique	0,39	0,36	0,45	0,45	0,50
Point d'écoulement (°C)	- 50	- 55	- 21	- 50	- 21

Poids volumique	0,87	0,96	0,87	0,97	0,92
Demande en oxygène biologique (ppm)	6	0	6	24	250

Tableau 2: Spécifications des huiles de substitution préconisées par trois Commissions de Normes

Caractéristiques	IEC 296 (Classe II)	ASTM D 3487	BS 148/84
Densité à 20°C	< 0,895	0,91	< 0,895
Viscosité à 40°C mm ² /s	< 11,0	< 12,0	< 11,0
Viscosité à – 30°C mm ² /s	< 1800		< 1800
Point d'écoulement °C	< –45	< – 40	< – 45
Point d'éclair PM °C	> 130		> 130
point de feu COC °C		> 145	
Facteur de neutralisation Mg KOH/g	< 0,03	< 0,03	< 0,03
Teneur en antioxydant pour huiles non-inhibées %	Non détectable	0,08	Non détectable
Teneur en eau %	< 0,003 % en vrac	< 0,0035 %	< 0,003 % en vrac

	< 0,004 % en fût		< 0,004 % en fût
Tension d'interface nM/m	> 40	> 40	-
Tension de rupture au départ KV			
Après traitement kV	> 50	>70	-
Facteur diélectrique de perte tg δ à 90°C	0,005	0,003 (à 100°C)	0,005
Résistance à l'oxydation	Pas d'exigence comparable		

Nota : Les comparaisons se font entre les normes nationales ou internationales suivantes.

IEC: International Electro-technical Commission

ASTM: American Society for Testing Materials

BS: British Standard

11 ELIMINATION ET/OU REMPLACEMENT DE TRANSFORMATEURS CONTENANT DES PCB

Bien que ne tombant pas dans le cadre de cette publication, on peut faire ici quelques commentaires concernant l'élimination et le remplacement de transformateurs contenant des PCB. D'autres informations sur les technologies disponibles pour l'élimination des transformateurs sont données dans la publication du PNUE : Etudes sur les technologies non-incinératives existantes de destruction des PCB, citée ci-dessus.

Il ne faut pas oublier à ce sujet que tout transport de déchets toxiques contenant des PCB est réglementé par la Convention de Bâle, à laquelle il y a lieu de se référer pour des indications et recommandations complémentaires sur le transport de ces déchets.

11.1 ELIMINATION DES TRANSFORMATEURS

Si on trouve qu'un transformateur contient une teneur en PCB qui le classe dans le groupe des « transformateurs contenant des PCB », et si le retrofitting a été écarté comme solution viable pour un traitement, le problème se pose alors de savoir comment cet équipement peut être éliminé.

Le problème principal en relation avec l'élimination des transformateurs est de savoir quelles technologies sont disponibles pour ce faire. En Europe et aux Etats Unis par exemple ce problème est relativement facile à résoudre car divers procédés sont disponibles et opérationnels. Dans ces pays, c'est l'incinération qui est la plus souvent utilisée, bien que ceci soit souvent accompagné d'un pré-traitement quelconque permettant de récupérer une partie ou tous les composants métalliques. L'incinération est donc couramment utilisée mais peut s'avérer plus onéreuse que d'autres techniques moins drastiques. Parmi celles-ci on peut citer le démontage complet du transformateur suivi d'un tri des pièces métalliques, rassemblées en groupes de métaux similaires, puis décontaminées et recyclées de manière appropriée.

L'huile de vidange sera soit incinérée, soit traitée avec un solvant pour extraire les PCB. Le solvant obtenu est riche en PCB et peut être envoyé à une société chimique pour le convertir en acide chlorhydrique. La décontamination des huiles de transformateur par des méthodes chimiques est peu utilisée dans les pays industrialisés à cause de l'accès relativement aisé aux techniques d'incinération. Les huiles peuvent être assez facilement transportées en fûts ; il faut noter que leur incinération est plus facile, et donc moins chère, que pour des équipements tels que les transformateurs et condensateurs.

Pour des pays sans accès facile à l'incinération on pourra appliquer l'une ou l'autre des technologies décrites dans la publication du PNUE mentionnée ci-dessus.

11.2 LE REMPLACEMENT DES TRANSFORMATEURS

On peut noter que les nouveaux transformateurs peuvent être soit de type conventionnel utilisant toujours des liquides diélectriques, mais exempts de PCB, soit de conception tout à fait différente.

Dans le premier cas, comme dans celui d'un retrofit, le transformateur fonctionne toujours avec un liquide qui possède les caractéristiques diélectriques appropriées, et qui joue aussi le rôle d'un liquide refroidisseur circulant à travers les aubes. Des exemples d'huiles diélectriques de substitution sont donnés dans l'Annexe B.

Dans le deuxième cas, la nouvelle conception se traduit par des structures internes tout à fait différentes des transformateurs conventionnels. De tels transformateurs sont généralement secs, c'est-à-dire qu'ils ne contiennent pas de liquide diélectrique :

- a) *Les transformateurs à imprégnation intégrale de résines* ont un noyau formé de résine solidifiée autour des enroulements électriques. Le problème principal ici est d'empêcher que les changements de température mènent à des contraintes provoquant la formation de fissures dans la résine diélectrique. Il semble que de tels problèmes soient maintenant résolus. La résine doit bien sûr être résistante au feu avec des additifs non-chlorés appropriés pour réduire les conséquences de tout incendie qui pourrait se produire.
- b) *Des transformateurs au gaz* ont été mis au point. Ils peuvent contenir un gaz tel que le hexafluorure de soufre sous pression qui agit en tant que fluide diélectrique et vecteur de refroidissement. Il sort du cadre de cette publication de présenter de manière détaillée ces types de transformateurs de substitution. Des informations sur ce sujet sont disponibles auprès de fournisseurs bien connus de ce type d'équipement dans chaque région ou pays.

12 SOURCES D'INFORMATIONS COMPLEMENTAIRES

Cette publication vise à présenter une vue d'ensemble des problèmes liés à la gestion d'équipements électriques contenant des PCB. Des informations bien plus détaillées sur les différents aspects de cette gestion peuvent se trouver dans le cadre d'autres sources, en particulier sur les sites Internet. Une liste de ces sites est présentée ci-dessous. Ils comprennent à la fois des associations professionnelles, des équipements électriques et les entreprises de production et de service. Cette liste est évidemment non exhaustive et indique nullement une quelconque préférence pour une organisation ou entreprise citée.

12.1 ENTRETIEN GENERAL

Des informations concernant l'entretien des transformateurs se trouvent sur de nombreux sites Internet; on peut citer ici:

- <http://www.atd.siemens.de>
- <http://www.electricityforum.com>
- <http://www.swgr.com>
- <http://www.members.aol.com>
- <http://www.winder.uk>
- <http://www.sunohio.com>
- <http://www.abb.com>
- <http://cix.co.uk>

12.2 LE RETROFILLING

Ce sujet est abordé par certains des sites précités, et également par :

- <http://www.er.doe.gov>
- <http://www.cgli.com>

- <http://dynex.com>
- <http://cogentregs.com>
- <http://www.nttworldwide.com>
- <http://www.mcdean.com>

12.3 LISTE DES OUVRAGES

De nombreux livres traitent de ce sujet. En voici une sélection:

- Electrical power transformers and power equipment, Fairmount Press (www.pearsonptg.com)
- Transformers and motors, G Schultz
- Transformer oil handbook, from Nynas (voir fiches)

Le site <http://www.usbr.gov/power/dat> contient des chapitres d'un livre sur les transformateurs, y compris leur entretien.

Des listes de livres sur le sujet se trouvent sur le site <http://www.processassociates.com>

12.4 INFORMATIONS GENERALES SUR LES PCB ET LA LEGISLATION

- <http://europa.eu.int/eur-lex/fr>
La législation européenne, en français, sur les PCB ; c'est le document le plus complet couvrant les aspects législatifs et techniques sur ce sujet.
- <http://environnement.fr>
Le site du gouvernement français expliquant l'application des Directives européennes.
- <http://www.defra.gov.uk>
Vue d'ensemble de la législation du Royaume Uni, et les documents disponibles.
- <http://www.epa.gov>
La législation des Etats-Unis concernant le reclassement des transformateurs contenant des PCB.

- <http://dla.mil>
Vue d'ensemble de la réglementation TSCA (Toxic Substances Control Act, USA) applicables aux PCB.
- <http://www.rcctt-lac.org.uy>
Les directives sur les PCB et les déchets similaires.
- <http://www.ec.gc.ca>
La législation canadienne sur les PCB
- <http://mrw.wallonie.be>
La législation en Belgique, en français

Les sites Internet du PNUE Substances Chimiques et la Convention de Bâle contiennent des informations détaillées sur tous les aspects de PCB, et ceci aussi en français :

- <http://www.chem.unep.ch>
Le PNUE Substances Chimiques met aussi à disposition un CD-ROM couvrant toutes leurs activités. Celui-ci peut être obtenu en envoyant un E-mail à chemicals@unep.ch
- <http://www.basel.int>
La sous-section "publications" donne accès aux informations sur tous les aspects de la gestion, le transport et l'élimination des déchets toxiques.

**ANNEXE A :
EXTRAIT DE LA CONVENTION
DE STOCKHOLM CONCERNANT LES PCB**

Voir aussi, par exemple, les Articles 3, 5 et 6, et l'Annexe C de la Convention. Le texte complet et des informations complémentaires sur la Convention peuvent être trouvés sur le site www.pops.int (on www.chem.unep.ch/sc)

CONVENTION DE STOCKHOLM ANNEXE A

Deuxième partie

Polychlorobiphényles

Chaque Partie :

(a) S'agissant de l'élimination de l'utilisation des polychlorobiphényles dans les équipements (par exemple transformateurs, condensateurs ou autres réceptacles contenant des liquides) d'ici à 2025, sous réserve d'examen par la Conférence des Parties, prendre des mesures conformément aux priorités ci-après :

- (i) S'employer résolument à identifier, étiqueter, et retirer de la circulation les équipements contenant plus de 10 % et de 5 litres de polychlorobiphényles ;
- (ii) S'employer résolument à identifier, étiqueter, et retirer de la circulation les équipements contenant plus de 0,05 % et de 5 litres de polychlorobiphényles ;
- (iii) S'efforcer d'identifier et de retirer de la circulation les équipements contenant plus de 0,005 % et de 0,05 litres de polychlorobiphényles ;

(b) Conformément aux priorités énoncées à l'alinéa a), privilégie les mesures ci-après visant à réduire l'exposition et les risques en vue de réglementer l'emploi des polychlorobiphényles :

- (i) Utilisation uniquement dans des équipements intacts et qui ne furent pas et seulement dans des lieux où les risques de rejet dans l'environnement peuvent être réduits au minimum et où il peut y être rapidement remédié ;
- (ii) Aucune utilisation dans des équipements situés dans des lieux ayant un rapport avec la production ou le traitement de denrées alimentaires ou d'aliments pour animaux ;

(iii) Dans le cas où une utilisation dans des zones peuplées, y compris des écoles et des hôpitaux, adoption de toutes les mesures pouvant raisonnablement être prises pour prévenir les pannes électriques qui pourraient provoquer un incendie, et inspection à intervalles réguliers des équipements pour déceler les fuites ;

(c) Nonobstant les dispositions du paragraphe 2 de l'article 3, veille à ce que les équipements contenant des polychlorobiphényles, tels que décrits à l'alinéa a), ne soient ni exportés ni importés, sauf en vue d'une gestion écologiquement rationnelle des déchets ;

(d) Sauf pour des opérations de maintenance et d'entretien, n'autorise pas la récupération à des fins de réutilisation dans d'autres équipements des liquides dont la teneur en polychlorobiphényles dépasse 0,005 %;

(e) S'emploie résolument à parvenir à une gestion écologiquement rationnelle des déchets de liquides contenant des polychlorobiphényles et d'équipements contaminés par des polychlorobiphényles dont la teneur en polychlorobiphényles dépasse 0,005 %, conformément aux dispositions du paragraphe 1 de l'article 6, dès que possible et au plus tard en 2028, sous réserve d'examen par la Conférence des Parties ;

(f) Au lieu de la note ii) de la première partie de la présente annexe, s'efforce d'identifier d'autres articles dont la teneur en polychlorobiphényles dépasse 0,005 % (par exemple gaines de câbles, matériaux de calfatage et objets peints) et de les gérer conformément au paragraphe 1 de l'article 6 ;

(g) Etablit tous les cinq ans un rapport sur les progrès accomplis dans l'élimination des polychlorobiphényles et le soumet à la Conférence des Parties en application de l'article 15 ;

(h) Les rapports visés à l'alinéa g) sont, selon qu'il convient, examinés par la Conférence des Parties dans le cadre de l'examen des polychlorobiphényles. La Conférence des Parties examine les progrès accomplis dans l'élimination de polychlorobiphényles tous les cinq ans ou selon une autre périodicité, le cas échéant, compte tenu des rapports susvisés.

ANNEXE B : EXEMPLES D'HUILES DE SUBSTITUTION

Les fiches suivantes ont été préparées à partir d'informations obtenues de divers fabricants d'huile pour transformateurs. Cette liste est non-exhaustive mais elle montre les propriétés de diverses huiles pour transformateurs exemptes de PCB disponibles sur le marché. Les données montrent que les caractéristiques des huiles peuvent varier considérablement, et ceci permet la sélection du produit le mieux adapté pour l'opération de retrofilling, en fonction des caractéristiques du transformateur ainsi que des conditions de fonctionnement, comme il a été expliqué précédemment.

Bien que toutes les précautions ont été prises pour obtenir des informations représentatives concernant ces huiles de substitutions, le PNUE Substances Chimiques ne peut être tenu responsable pour des erreurs ou omissions éventuelles. Le PNUE Substances Chimiques n'émet pas d'opinion au sujet de, ni ne cautionne les produits cités, mais est prêt à mettre à jour ces informations dans les éditions futures de ce document et invite donc les sociétés à fournir d'autres informations utiles sur ces produits.

Fabricant :	ABB Power T & D Co. Inc.
--------------------	--------------------------

Raleigh

North Carolina 27502

Etats Unis

Nom du produit : BIOTEMP®

Famille chimique : huile oléique à base végétale

Propriétés générales

	Méthode de test (toutes ASTM)	BIOTEMP®
Etat physique		liquide
Couleur	D 1500	0,5
Poids volumique à 15°C		0,91
Point d'éclair °C	D 92	300
Point de feu °C	D 92	320
Point d'écoulement °C	D 97	- 15 à - 25
Viscosité, cp		
0°C	D 445	300
40°C	D 445	45
100°C	D 445	10
Biodégradabilité		97%

Propriétés électriques

Constante de rupture diélectrique

kV à 60 Hz

a) électrode disque	D 877	45
b) électrode VDE	D 1816	74

Facteur de perte $\text{tg } \delta$

à 60 Hz, %

25°C	D 924	0,025
100°C	D 924	1,0

Propriétés chimiques

Soufre corrosif	D 1275	non-corrosif
-----------------	--------	--------------

Facteur de neutralisation

mg KOH/g	D 794	0,06
----------	-------	------

Tendance au dégazage D 2300b		1 µlitre/min
------------------------------	--	--------------

Fabricant :

Agip Petroli

via Laurentina, 449

00144 ROMA

Italie**Nom du produit:**

Agip ITE 320 et 360

Famille chimique:

huile minérale

Propriétés générales

	méthode de test	AGIP ITE	AGIP ITE
	IEC	320-320L	360-360L
Etat physique		liquide	liquide
Point aniline °C		66	78
Densité à 20°C, kg/l	ASTM D 1298	0,880	0,890
Point d'éclair °C	ASTM D 92	145	152
Point de feu °C	ASTM D 92	170	180
Point d'écoulement °C	ASTM D 97	- 48	- 33
Viscosité cinématique mm ² /s			
- 30°C	ASTM D 445	1220	
- 15°C	ASTM D 445		254
40°C	ASTM D 445	9,3	14,03
100°C	ASTM D 445	2,67	3,32
Tension interfaciale, dynes-cm	ASTM D 971	45,5	47,3

Biodégradabilité	OECD 301 B	6% après 28 jours	
------------------	------------	-------------------	--

Propriétés électriques

Tension de rupture diélectrique

kV à 50 Hz	IEC 156	60	60
------------	---------	----	----

Facteur de perte tg δ

à 90°C, 50 Hz, %

(après traitement IEC 296)	IEC 247	0,001	0,001
----------------------------	---------	-------	-------

Propriétés chimiques

Soufre corrosif	ASTM D 1275	non-corrosif	
-----------------	-------------	--------------	--

Facteur de neutralisation (indice

d'acidité) mg KOH/g	IEC 296		
---------------------	---------	--	--

Résistance à l'oxydation	IEC 74	0,1	0,1
--------------------------	--------	-----	-----

Dépôt de sédiments % en poids		0,02	0,02
-------------------------------	--	------	------

Temps d'induction, h		12,4	12,4
----------------------	--	------	------

Inhibiteur d'oxydation		nul	nul
------------------------	--	-----	-----

Eau, max. ppm		30	30
---------------	--	----	----

Fabricant:	Dow Corning
-------------------	-------------

Midland

MICHIGAN

Etats Unis

Nom du produit: 561® Transformer Fluid

Famille chimique: polymère à base de polydiméthyl-siloxane

Propriétés générales

	méthode de test	561® Transformer Fluid
Poids volumique 25°C	ASTM 1298	0,957 – 0,964
Point d'éclair °C	ASTM D 92	268
Point de feu °C	ASTM D 92	371
Point d'écoulement °C	ASTM D 97	– 50
Viscosité 0°C	ASTM D445; D2161	81-92
25°C		47,5
40°C		35-39
100°C		15-17
Tension interfaciale, dynes-cm	ASTM D 971	20,8
Teneur en humidité	ASTM D 1533	50 max
Chaleur spécifique	ASTM D 2766	
cal/g/°C 25°C		0,360

Coefficient de dilatation	ASTM D 1903	
cc/cc/°C		0,00104
Conductivité thermique	ASTM D 2717	
cal/(sec.cm ² .°C)/cm		0,00036

Propriétés électriques

Résistance disruptive		
25°C kV à 60 Hz	ASTM 877	35
Facteur de perte tg δ	ASTM D 924	
25°C,		0,0001
100°C		0,0015
Constante diélectrique, 25°C	ASTM D 924	2,7
Résistivité volumique		
ω-cm 25°C	ASTM D 1169	1 x 10 ¹⁴

Produits principaux de combustion: hydrogène, eau, CO, CO₂, CH_n

plus des produits solides: SiO₂, C

Fabricant:	Ergon Inc.
-------------------	------------

Vicksburg

Massachusetts 39181

Etats Unis

Nom du produit : HYVOLT II

Famille chimique: distillat léger naphténique hydro-traité

Propriétés générales

	Méthode de test (toutes ASTM)	HYVOLT II
Aspect		translucide, clair
Couleur	D 1500	0,5 max
Poids volumique à 15°C	D 4052	0,889
Point d'éclair °C	D 92	149
Point aniline °C	D 611	70,4
Point d'écoulement °C	D 97	- 55
Viscosité, cSt		
40°C	D 445	9,8
100°C	D 445	2,4

Propriétés électriques

Rupture diélectrique

kV à 60 Hz	D 877	40
------------	-------	----

Facteur de puissance %,

25°C	D 924	0,005
------	-------	-------

100°C	D 924	0,084
-------	-------	-------

Propriétés chimiques

Soufre corrosif	D 1275	non-corrosif
-----------------	--------	--------------

Tension interfaciale

25°C, dynes/cm	D 971	51
----------------	-------	----

Facteur de neutralisation

mg KOH/g	D 974	< 0,01
----------	-------	--------

Teneur en eau

Karl Fischer, ppm	D 1533	14
-------------------	--------	----

Résistance à l'oxydation	D 2440	
--------------------------	--------	--

72 hrs % sédiments en poids		0,1 max
-----------------------------	--	---------

indice d'acidité KOH mg/g		0,3 max
---------------------------	--	---------

164 hrs % sédiments en poids		0,2 max
------------------------------	--	---------

indice d'acidité KOH mg/g		0,4 max
---------------------------	--	---------

Fabricant:	Lubricants USA Fina
-------------------	---------------------

Plano

Texas 75075

Etats Unis

Nom du produit: DIEKAN 410
(d'autres grades disponibles)

Famille chimique: huile naphénique minérale inhibée

Propriétés générales

	Méthode de test (toutes ASTM)	DIEKAN 410
Etat physique		liquide
Couleur	D 1500	0,5
Poids volumique	D 1298	0,8959
Point d'éclair °C	D 92	300
Point de feu °C	D 92	149
Point d'écoulement °C	D 97	- 62
Viscosité, cSt		
40°C	D 445	10,9
100°C	D 445	2,54

Propriétés électriques

Résistance disruptive kV	D 877	40
Rupture diélectrique 60 Hz		
Electrodes disque	D 877	38
Facteur de puissance		
25°C %	D 924	0,002
100°C %	D 924	0,070

Propriétés chimiques

Soufre corrosif	D 1275	pas de corrosion
Facteur de neutralisation		
mg KOH/g	D 794	0,014
Tendance au dégazage µl/min	D 2300	
Procédure A		15
Procédure B		30
Résistance à l'oxydation	D 2440	
Test 72 h % sédiments		0,1
Indice d'acidité		0,1
Teneur en eau ppm	D 1533	21
Point d'aniline °C	D 611	74

Fabricant:	M & I Materials
-------------------	-----------------

PO Box 136

MANCHESTER M60 1AN

Grande Bretagne

Nom du produit: MIDEL® 7131

Famille chimique: ester pentaérythritol d'acide gras

Propriétés générales

	Valeurs de la norme	
	IEC 1099	MIDEL® 7131
Couleur (unités HU)	< 200	125
Densité à 20°C, kg/l	< 1	0,97
Point d'éclair °C	> 250	275
Point de feu °C	> 300	322
Point d'écoulement °C	< - 45	- 48
Viscosité cinématique, mm ² /s		
40°C	< 35	30
- 20°C	< 3000	1700

Biodégradabilité (méthode EEC 79/831) 83% après 28 jours

Propriétés électriques

Tension de rupture, kV	> 45	80
Facteur de perte tg δ		
à 90°C, 50 Hz,	< 0,03	0,004
résistivité CD à 90°C, G ω -m	> 2	9

Propriétés chimiques

Facteur de neutralisation		
mg KOH/g	< 0,03	0,02
Résistance à l'oxydation		
sédiments % en poids	< 0,01	0
acidité, mg KOH/g	< 0,3	0,01
Temps d'induction, h		12,4
Teneur en eau, mg/kg	< 200	50

Fabricant:	Nippon Petrochemicals Co., Ltd.
-------------------	---------------------------------

1-3-1 Uchisaiwai-cho

Chiyoda-ku, Tokyo 100-8530

Japon

Nom: PXE (xylyle phényle éthane)
(d'autres grades disponibles)

Famille chimique: hydrocarbure synthétique

Méthode de test PXE

Propriétés physiques

Couleur	JIS K 2580	+30
Point d'aniline	JIS K 2256	15
Densité à 15°C, kg/l	JIS C 2101	0,988
Point d'éclair °C	JIS C 2101	152
Point de feu °C	JIS K 2265	170
Point d'écoulement °	CJIS C 2101	- 47,5
Viscosité cinématique mm ² /s		
40°C	JIS K 2283	5,2
100°C	JIS K 2283	1,6

Fabricant:	Nynas Naphthenics AB
-------------------	----------------------

PO Box 10701

121 29 Stockholm

Suède

Nom du produit: Nytro 10GBN, 10BN, 10GBX
(autres grades disponibles)

Famille chimique: huile naphénique

Propriétés générales

	méthode de test	Nytro 10GBN (non-inhibé)	Nytro 10BN (non-inhibé)	Nytro 10GBX (non-inhibé)
(inhibé)				
Densité à 20°C, g/dm ³	ISO12185	0,886	0,882	0,886
Point d'éclair °C	ISO2719	148	144	148
Point de feu °C				
Point d'écoulement °C	ISO3016	- 57	- 57	- 57
Viscosité cinématique, cp				
- 30°C	ISO3104	1180	870	1180
40°C	ISO3104	8,9	8,0	8,9
Tension interfaciale, dynes/cm	ISO6295	49	44	49

Propriétés électriques

Tension disruptive diélectrique

avant traitement kV	IEC 156	40-60	40-60	40-60
après traitement kV	IEC 296	> 70	> 70	> 70

Facteur de perte tg δ

à 90°C	IEC 247	< 0,001	< 0,001	< 0,001
--------	---------	---------	---------	---------

Propriétés chimiques

Facteur de neutralisation

mg KOH/g	IEC 296	< 0,01	< 0,01	< 0,01
----------	---------	--------	--------	--------

Résistance à l'oxydation

a) 100°C, 164 h IEC 1125 A

facteur de neutralisation

mg KOH/g	0,15	0,09
----------	------	------

sédiments % en poids	0,02	< 0,02
----------------------	------	--------

b) 120°C, 164 h IEC 1125 C

acidité totale, mg KOH/g	0,26	-
--------------------------	------	---

sédiments % en poids	0,08	-
----------------------	------	---

c) 120°C; induction h IEC 1125 B 181

Soufre corrosif	ISO 5662	non corrosif	idem	idem
Teneur en eau mg/kg	IEC 814	< 20	< 20	< 20
Teneur en aromatiques %	IEC			

Fabricant:	Shell
-------------------	--------------

(plusieurs bureaux dans le monde)

Nom du produit: Diala D, M
(d'autres grades disponibles)

Famille chimique: huile naphénique

Caractéristiques:

Propriétés générales

	méthode de test	Diala D	Diala M
Pureté, aspect	DIN 57370	limpide, sans particules	
Densité à 15°C kg/m ³	DIN 51757	877	889
Point d'éclair °C	DIN EN 22719	138	141
Point d'écoulement °C	ISO 3016	< - 60	< - 45
Viscosité cinématique			
40°C mm ² /s	DIN 51562-1	9	10,2
- 30°C mm ² /s	DIN 51562-1	780	1700

Propriétés électriques

Rupture diélectrique			
kV	DIN EN 60156	> 60	> 50

Facteur de perte tg δ

à 90°C

DIN 57370

0,001

0,002

Propriétés chimiques

Soufre corrosif

DIN 51353

non-corrosive

Neutralisation (indice d'acidité)

mg KOH/g huile

DIN 51558-2

< 0,03

< 0,03

Indice de saponification

Baader 140 h/110°C

mg KOH/g

0,2

0,48

Résistance à l'oxydation

Indice d'acidité après 164 h

(mg KOH/g huile)

IEC 1125 A

0,05

0,20

Teneur en sédiments %

0,04

0,04

Classe de toxicité OFSP T no.

libre/ 617200

libre/ 617200