

## Les filières de récupération des e-déchets<sup>1</sup>

Travail de Maturité réalisé au [Lycée Blaise Cendrars](#) de La Chaux-de-Fonds  
sous la direction de François Straub

Elsa Rouvinez

*Résumé : Cet article passe en revue un certain nombre de thèmes concernant les « déchets » liés aux appareillages électroniques. Sont abordées tout d'abord les filières de recyclage et de récupération du point de vue local, avec les prescriptions en vigueur, et international, avec l'exportation des déchets dans les pays « pauvres ». Puis un chapitre est consacré aux nouveaux métiers liés à la récupération des déchets avant de présenter les aspects de toxicité qui débouchent sur la présentation d'une expérience originale.*

---

*« Améliorer aujourd'hui les conditions de vie de l'individu, de la famille, de la société ne signifie rien si demain leurs descendants sont ruinés dans leur santé, ont perdu l'essentiel de leurs biens naturels et de leur raison de vivre et si la société, voire l'espèce elle-même est menacée de déclin. » Pesson (1974)*

### 1. Introduction

Le thème général, les e-déchets, a été choisi à la suite de la lecture d'un article du magazine Sciences & Vie (Ollivier, 2003). De nombreuses questions ont alors émergé ainsi que l'envie de tester les conséquences réelles sur l'environnement des produits contenus dans un ordinateur :

1. Quelles sont les matières toxiques dans un ordinateur ?
2. Comment peut-on identifier les matières toxiques ?
3. Où vont les ordinateurs hors d'usage ?
4. Quels pays exportent leurs déchets en Chine par exemple ?
5. Quelles mesures sont prises par les Chinois en ce qui concerne le recyclage ?
6. Quelle est la filière de recyclage des ordinateurs en Suisse ?
7. Le recyclage est-il un marché lucratif en Suisse ?
8. Quelles matières peuvent être recyclées ?
9. Y a-t-il beaucoup de centres de recyclage dans la région ?
10. Le consommateur doit-il payer pour se débarrasser de son ordinateur ?
11. Quels sont les effets des produits toxiques sur la nature et la santé ?

Le thème général étant choisi, il a fallu trouver un sujet précis: « Les filières de récupération des e-déchets ». Une précision doit être apportée. Le sujet initial était : « La filière de récupération des e-déchets dans la région ». Cependant, je n'ai pas pu donner ce titre à mon travail de maturité étant donné qu'il ne correspondait pas exactement au contenu de ce dernier. Pendant l'élaboration de mon travail, je me suis tout d'abord rendu compte qu'il n'existait pas une seule filière de récupération, mais que plusieurs chemins étaient envisageables.

La raison de la deuxième modification est simple: il n'est pas possible de recycler les e-déchets dans une région bien déterminée. Les composants de ces déchets sont dispatchés à travers toute la Suisse (certains éléments vont même être recyclés hors de nos frontières). Par conséquent, il est impossible de se concentrer sur une région sans omettre des étapes importantes de la récupération et du recyclage. De plus, si j'avais conservé le premier sujet, je n'aurais pas pu traiter l'exportation des e-déchets qui me semble pourtant un volet important du recyclage des e-déchets même s'il concerne plutôt des pays lointains.

---

<sup>1</sup> La version complète peut être obtenue auprès de l'auteure : [elsa.r@caramail.com](mailto:elsa.r@caramail.com)

Avant la lecture de mon travail, quelques termes doivent être expliqués. Tout d'abord, je tiens à distinguer la notion de récupération et de recyclage.

La récupération est le fait de recueillir ce qui serait perdu ou inutilisé (Le nouveau petit Robert, 1993), alors que le recyclage consiste à traiter des objets pour les réutiliser. Le recyclage est donc l'étape qui se trouve à la suite de la récupération. Le titre de mon travail contient la notion de récupération et non de recyclage étant donné que je m'intéresse essentiellement aux différents chemins que peuvent emprunter les e-déchets avant leur recyclage proprement dit. Les techniques de recyclage, souvent complexes, ne sont que peu traitées dans ce travail.

Cependant, j'utilise quelques fois la notion de filières de recyclage. Celles-ci commencent, selon moi, au démontage des e-déchets. On ne récolte plus simplement, mais on agit sur ces objets.

Une petite distinction doit encore être apportée. Lorsque vous trouverez dans mon travail le mot ordinateur(s), il faut entendre e-déchets (mot utilisé dans l'article de Science & Vie désignant les déchets électroniques). Le mot ordinateur remplace souvent la notion de e-déchets, puisque les ordinateurs représentent les e-déchets par excellence et qu'ils contiennent tout ce que d'autres e-déchets pourraient contenir.

## 2. Les filières de récupération et de recyclage des e-déchets

### 2.1 La taxe

La filière de récupération et de recyclage du matériel informatique commence dès l'achat par le consommateur. Une taxe est prélevée sur le prix de vente de n'importe quel ordinateur ou matériel informatique. Cette taxe anticipée de recyclage est souvent citée sous l'abréviation de TAR (taxe anticipée de recyclage) ou encore TAE (taxe anticipée d'élimination, tableau 1).

La taxe est appliquée à tout le matériel informatique, mais également au matériel bureautique, au domaine de la photo, de l'électronique grand public, aux télécommunications et aux appareils de l'industrie graphique. Cette taxe est en vigueur depuis le 1<sup>er</sup> avril 1994 pour les machines de bureau ainsi que pour le domaine de l'informatique. En ce qui concerne les téléphones mobiles, elle est en vigueur depuis le 1<sup>er</sup> janvier 1999. En 2000, elle est instaurée dans l'industrie graphique, en 2001, pour les appareils téléphoniques, en 2002 pour l'électronique grand public. En 2003, la S.EN.S (cf. 2.5) a introduit la TAR pour les petits et gros appareils électroménagers.

| Prix de vente de l'appareil [ frs ] | TAE [ frs ] |
|-------------------------------------|-------------|
| 0 à 250                             | 0           |
| 251 à 1 000                         | 5           |
| 1 001 à 3 000                       | 7           |
| 3 001 à 6 000                       | 10          |
| 6 001 à 15 000                      | 20          |
| 15 001 à 30 000                     | 50          |
| 30 001 à 60 000                     | 100         |
| 60 001 à 150 000                    | 250         |
| 150 001 à 600 000                   | 500         |
| Plus de 600 000                     | 1000        |

**tableau 1.** Tableau de la TAE pour l'informatique (source: <http://www.swico.ch>, garantie de recyclage bureautique et informatique)

Cette taxe a été instaurée afin d'inciter les gens à redonner leur appareil usé et non de le jeter dans la nature par exemple. En effet, cette taxe permet aux consommateurs de redonner leur ordinateur dans un centre (cf. 2.2) et ceci sans devoir payer pour son recyclage. Cette taxe finance donc le transport et le recyclage des ordinateurs usagés. Elle assure également le recyclage du matériel qui n'a pas été soumis à cette taxe. Si un vieil ordinateur a été vendu avant 1994, et par conséquent non taxé, sa récupération et son recyclage sont quand même gratuits.

La TAR est fixée par rapport au prix de l'appareil acheté. Elle varie selon la catégorie de l'appareil (informatique, bureautique, etc.)

## **2.2. Se débarrasser d'ordinateurs**

### *2.2.1. Un privé veut se débarrasser de son ordinateur*

Lorsqu'un privé désire se débarrasser de son ordinateur, il a plusieurs possibilités.

- Si l'ordinateur fonctionne encore, la meilleure solution reste de le donner à un plus défavorisé. Pour cela, il existe les associations caritatives.
- S'il n'est plus en état de bon fonctionnement, le privé peut s'en débarrasser lors d'une journée de collecte organisée par la commune par exemple (aucune commune n'est obligée d'organiser de telles collectes) ou bien amener son appareil dans un centre de remise, chez le fabricant ou encore chez un revendeur.
- Si le consommateur demande qu'on vienne chercher son matériel à domicile, une participation peut être exigée de lui, mais en aucun cas, le privé n'aura à payer s'il ramène son appareil à un des endroits cités ci-dessus par ses propres moyens.

Il existe un peu plus d'une dizaine de centres de remise pour le Jura et le canton de Neuchâtel. Certains d'entre eux démontent les ordinateurs, trient les matières puis les envoient à des maisons spécialisées dans le recyclage de ces matières. Les autres ne font que stocker les déchets informatiques (ordinateurs, claviers, souris, etc.) et les expédient dans des entreprises spécialisées.

### *2.2.2. Une entreprise ne veut plus de ses anciens ordinateurs*

Lorsqu'une entreprise se débarrasse de ses anciens ordinateurs, soit elle décide de s'en passer, soit elle fait cela dans le but de changer de matériel et donc d'en acheter de plus récents. Dans le premier cas, elle peut demander au fournisseur qui lui a vendu les ordinateurs dont elle ne veut plus de les reprendre et ceci gratuitement. Lorsque le fournisseur d'origine ne peut pas reprendre les ordinateurs pour une quelconque raison (ex : il a fait faillite), l'entreprise remplit un formulaire et SWICO (cf. 2.4) prend en charge cette mission ; elle les emmènera dans un centre de remise ou directement de recyclage suivant les possibilités.

Dans le cas où l'entreprise achète de nouveaux ordinateurs, le fournisseur de ceux-ci doit reprendre les anciens ordinateurs, même s'ils n'ont pas été achetés à celui-ci.

### *2.2.3. Une commune veut se débarrasser de vieux ordinateurs*

Si la commune organise des récoltes pour les déchets électroniques, elle s'en débarrassera en faisant appel à un centre de remise, situé dans sa commune ou le plus proche possible.

#### 2.2.4. Un revendeur veut se débarrasser d'ordinateurs

Le revendeur qui veut se débarrasser de vieux ordinateurs qui ont soit été redonnés à l'achat d'un appareil neuf ou alors simplement rapportés sans contre-partie, remplit un formulaire nommé : « ordre de ramassage » et Cargo Domicile (camions et trains) envoyé par SWICO (cf. 2.4) vient alors le débarrasser des ordinateurs hors d'usage, tout cela gratuitement. Dans le cas où l'ordinateur est encore en état de bon fonctionnement ou que quelques réparations pourraient lui redonner une deuxième vie, le revendeur peut décider de le garder pour le revendre ultérieurement.

### 2.3. Les filières de recyclage depuis les centres de remise

On peut considérer que les chemins que va emprunter le matériel informatique à la suite des centres de remise constituent les filières de recyclage à proprement parlé étant donné que l'on démonte des ordinateurs, imprimantes, etc. Le démontage peut être considéré comme la première étape du recyclage. Par conséquent les centres de remise qui ne font que stocker les ordinateurs forment la dernière étape des filières de récupération.

En effet, certains centres de remise ne font que stocker les ordinateurs pour ensuite les envoyer à d'autres maisons, telles que Immark AG ou Job-eco. Les gares CFF qui, dans certains cas, font office de centre de remise possèdent des conteneurs mis à disposition par Immark AG<sup>1</sup>. Par exemple, les gares CFF de Neuchâtel, de Porrentruy et de Travers, qui sont toutes des centres de remise, travaillent en collaboration avec Immark : Immark leur met à disposition des palettes et des conteneurs. En échange, ces gares envoient le matériel dans leur entreprise pour le recyclage.

Les autres centres de remise sont en plus des centres de recyclage. Ils s'occupent de démonter les ordinateurs puis d'envoyer les pièces à des entreprises spécialisées dans le recyclage de celles-ci. Job-eco est un bon exemple pour illustrer le deuxième cas cité ci-dessus.

Job-eco (Le Locle)<sup>2</sup> est considéré comme un centre de remise et de recyclage. Cette entreprise a été fondée dans le but de créer des emplois pour les chômeurs. Elle a vu le jour en 1995 grâce à l'Association de défense des chômeurs du Locle avec l'appui de la FTMH. Job-eco a maintenant deux succursales situées l'une à Neuchâtel et l'autre à Travers (Perrin & Droz, 2003).

Job-eco récupère le matériel qui lui arrive soit par Cargo Domicile, soit par le client (entreprise, privé, etc.) et le trie selon sa catégorie : les appareils audio-visuels, les machines à écrire, les appareils électroménagers et le matériel informatique sont séparés puis stockés dans de grandes caisses en bois. Ce matériel est ensuite réparti dans les différents ateliers qui sont chez Job-eco pratiquement semblables. Chaque atelier accomplit plus ou moins le même travail à l'exception d'un atelier composé essentiellement de femmes. Les petits appareils sont acheminés vers ce dernier. Le personnel travaillant dans les ateliers n'est pas qualifié, étant donné qu'il n'est pas du métier et n'a pas beaucoup de temps pour acquérir une bonne formation ; le personnel ne reste qu'une année au maximum.

---

<sup>1</sup> <http://www.immark.ch/>

<sup>2</sup> Job Eco SA, Centre de recyclage de matériel électrique et électronique (<http://www.job-eco.ch/>)

Dans ces ateliers, le travail consiste à démonter les appareils, puis à trier les moteurs, les transformateurs, les circuits imprimés, les condensateurs, les prises, les haut-parleurs, les bobines de déflexion, les piles, etc. Les matériaux sont également séparés : l'alu, le plastique, le verre, la tôle et les autres composants. Un autre tri consiste à séparer les circuits imprimés en trois groupes selon leur quantité d'or. Le verre est également séparé en deux groupes : le verre neutre qui ne pose aucun problème et le verre pour les écrans. Celui-ci contient une poudre nocive pour l'environnement (mais pas pour l'homme). Le matériel, une fois démonté, est vendu à des maisons spécialisées, mais pourtant les bénéfices de Job-eco sont quasi nuls selon M. Morel, mécanicien de formation et travaillant chez Job-eco. Tout le matériel est vendu à des prix dérisoires.

La tôle est ramassée par des ferrailleurs, des maisons spécialisées reprennent l'alu, d'autres les circuits imprimés. Le verre qui constitue les écrans n'est pas non plus traité chez Job-eco, mais par une autre entreprise.

Toutes ces maisons spécialisées dans le recyclage de certains matériaux possèdent une licence fédérale. Un exemple de maison spécialisée dans le recyclage de certains matériaux est Thommen AG qui recycle du fer, de l'alu, etc. Une autre maison spécialisée est l'usine de Batrec à Wimmis dans le canton de Berne. Celle-ci récolte les piles, accus et batteries de toute la Suisse. Elle va traiter certains de ces éléments, mais cependant elle ne recycle pas les accus au cadmium par exemple. Elle les envoie dans d'autres maisons de recyclage qui se trouvent à Bâle ou encore à l'étranger (en Allemagne ou en Italie).

Certains déchets ne peuvent pas être recyclés. Le plastique est envoyé chez Cridor à la Chaux-de-Fonds pour son incinération alors que les condensateurs sont eux envoyés dans l'usine d'incinération de Cheneviers, qui se situe dans le canton de Genève. En ce qui concerne le matériel informatique, les centres de remise ont vu une augmentation du nombre d'ordinateurs qu'ils ne font que stocker ou qu'ils démontent. Chez Job-eco, il représente 20% du matériel à recycler.

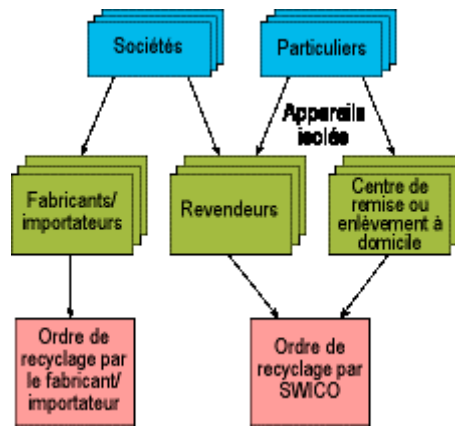
On constate donc qu'il existe de nombreuses solutions pour se débarrasser des ses vieux ordinateurs. Nous verrons par la suite que SWICO et l'OREA assurent un bon recyclage, mais il ne faut pas oublier les personnes qui agissent au niveau communal par exemple. La commune de Soyhières nous en fait la démonstration. Pendant une année, Mme Noguès<sup>1</sup> s'est battue pour obtenir un centre de remise dans la commune. Après une pénible lutte, elle a eu gain de cause et a vu au début de l'année 2003, la réalisation de son projet. La commune de Soyhières possède donc actuellement un centre de remise qui est régi par la convention SWICO et qui est par conséquent déchargé de ses ordinateurs par Cargo Domicile.

La simplicité du schéma de SWICO (figure 1) provoque un manque de détails important et quelques confusions.

Tout d'abord, ce schéma devrait comporter un étage supplémentaire étant donné que l'on peut considérer que la filière de recyclage débute à la perception de la TAR. En ce qui concerne le deuxième étage, il ne parle pas des communes qui dans certains cas organisent des collectes, ni d'ailleurs des associations caritatives qui reprennent des ordinateurs en état de bon fonctionnement.

---

<sup>1</sup> Mme Noguès, communication téléphonique, 16 octobre 2003.



**fig 1.** Le schéma de SWICO nous montre une vision globale du recyclage d'un ordinateur en Suisse. Il nous montre les trois étapes principales de la vie d'un ordinateur : L'utilisation, Le recyclage de l'appareil, La remise de l'appareil usagé

Etant donné que c'est un schéma réalisé par SWICO et que celui-ci représente le recyclage selon leur modèle, on peut estimer qu'il est normal de ne pas voir apparaître les associations caritatives. En effet, elles ne font pas partie du recyclage SWICO puisque les ordinateurs ne sont pas démontés pour un recyclage (ou du moins pas pour l'instant car il est clair que l'acheteur de cet appareil usagé devra bien un jour s'en débarrasser), mais seulement revendus. Sur le schéma de la page précédente, on peut apercevoir la notion de fournisseur, mais il est vrai qu'elle ne serait pas nécessaire étant donné que les fournisseurs sont des revendeurs. La demande à SWICO afin de se débarrasser de ces ordinateurs n'est pas non plus représentée sur le schéma du bas, mais elle est intégrée dans ce que SWICO a nommé ordre de ramassage par SWICO. Les flèches arrivant sur ce deuxième étage ne sont pas assez nombreuses. Il est simple de justifier l'ajout de flèches. En effet, même si en règle générale les centres de remise sont réservés aux particuliers, il en existe qui récoltent des ordinateurs provenant de sociétés. LOCA SA et la gare CFF de Porrentruy peuvent être cités comme exemple (d'après un questionnaire envoyé à plusieurs centres de remise). Une flèche pourrait donc être ajoutée pour exprimer cela. L'autre flèche (en pointillés) montrerait dans certains cas, l'obligation pour un fabricant ou un importateur de reprendre l'ordinateur d'un privé (Dans l'article n°4, 2° alinéa, il est stipulé que « les fabricants et les importateurs sont tenus de reprendre les appareils de leurs propres marques ou des marques qu'ils importent. »). Elle serait en pointillés parce qu'un ordinateur peut être refusé suivant sa marque. Il ne s'agit donc pas d'une règle en général.

Lorsqu'on examine le dernier étage, on se rend vite compte qu'il est un peu simplifié. Les centres de recyclage, les maisons spécialisées et les centres d'incinération ne sont pas présents. La fin des filières de récupération est donc représentée par un seul étage. De nouveau, une flèche pourrait être ajoutée. Les signataires SWICO sont des fabricants et des importateurs, il est donc logique d'ajouter la flèche qui les relie à l'ordre de recyclage par SWICO. Cette flèche est en pointillés car les fabricants / importateurs n'ont pas l'obligation d'être signataires. Les revendeurs et les centres de remise ne sont pas contraints à travailler en collaboration avec SWICO. Cependant, il est probable qu'en réalité la majorité d'entre eux travaille en collaboration avec SWICO ; il est donc impossible de supprimer ces flèches. Elles devraient donc être en pointillés.

Autre remarque : L'aspect de la réutilisation de l'ordinateur encore en état de fonctionner a également été oublié. Ce fait peut cependant être expliqué : SWICO s'occupe du recyclage des appareils électroniques et non de la réutilisation.

## 2.4. SWICO et sa garantie

SWICO est le nom de l'Association Economique Suisse de la Bureautique, de l'Information, de la Télématique et de l'Organisation. Elle apporte une garantie de recyclage des appareils bureautiques, informatiques, de l'industrie graphique, de l'électronique grand public, du secteur photo, des téléphones et téléphones portables.

Le garantie de recyclage SWICO se base sur quatre points essentiels :

- La convention SWICO oblige ses signataires à prendre leurs responsabilités au niveau du recyclage. Ces signataires peuvent être des importateurs ou des fabricants. Les signataires doivent reprendre gratuitement les appareils à part s'ils doivent procéder à un ramassage à domicile.
- Les centres de recyclages et d'élimination qui signent des contrats avec SWICO (ils travaillent en collaboration avec SWICO, mais ne sont pas signataires) d'une part pour la reprise des produits et d'autre part pour le recyclage doivent posséder une licence fédérale et bien évidemment, procéder à un recyclage conforme aux règles : les composants doivent être triés, les toxiques écartés, les matières recyclables recyclées, les déchets traités puis éliminés.
- LFGM St-Gall est un centre de contrôle technique mandaté par SWICO pour s'assurer du respect des règles du recyclage.
- SWICO a introduit des taxes anticipées de recyclage pour les appareils dont elle s'occupe pour permettre la gratuité de la remise du vieux matériel. Ce sont les signataires de la convention (importateurs et fabricants) qui sont responsables de facturer la TAR.

SWICO joue un rôle très important dans le recyclage des ordinateurs en Suisse. D'après Peter Bornand, président de la commission SWICO Environnement, peu de centres de remise ne travaillent pas en collaboration avec SWICO.

## 2.5. S.EN.S

La S.EN.S<sup>1</sup> est la fondation pour la gestion et la récupération des déchets en Suisse. Elle assure le même rôle que la SWICO, mais pour les appareils électroménagers, de bricolage et de jardinage.

## 2.6. L'OREA

Nous avons vu précédemment que SWICO se porte garant d'un bon recyclage. Les signataires et les collaborateurs de SWICO respectent donc l'OREA qui est l'ordonnance<sup>2</sup> sur la remise et l'élimination des appareils électriques et électroniques. A tout échelon de la récupération (du consommateur au centre d'élimination ou d'incinération, voire à l'exportation), cette ordonnance qui est en vigueur depuis le 1<sup>er</sup> juillet 98 doit être respectée et ce, même pour les non-signataires et non-collaborateurs de SWICO.

Cette ordonnance a pour but d'éviter que les appareils électriques et électroniques ainsi que les composants électroniques provenant d'appareils ne finissent avec les déchets urbains.

---

<sup>1</sup> *Jamais la récupération des appareils ménagers n'aura été aussi simple !* (<http://www.sens.ch>)

<sup>2</sup> Confédération helvétique – le 28 mars 2000. Ordonnance sur la restitution, la reprise et l'élimination des appareils électriques et électroniques. ([http://www.admin.ch/ch/f/rs/814\\_620/index.html](http://www.admin.ch/ch/f/rs/814_620/index.html))

Elle assure une élimination propre :

- Les composants très polluants doivent être éliminés séparément.
- Les tubes cathodiques et les composants contenant du métal doivent être recyclés (une dérogation existe lorsque les coûts de ce recyclage s'avèreraient trop élevés).
- Les composants chimiques organiques qui ne peuvent pas être valorisés (recyclés) doivent être incinérés (article n°6).

L'article n°3 de cette ordonnance stipule bien que le consommateur est tenu à redonner son appareil usagé aux différents endroits qui s'offrent à lui (cf. 2.2) L'article n°4, lui, parle de la reprise obligatoire des appareils usagés par les commerçants, fabricants, importateurs.

Lorsqu'une reprise est faite, le repreneur doit éliminer les appareils (s'il ne les répare pas ou ne les revend pas en occasion) ou alors les transmettre à un tiers pour leur recyclage (article n°5).

Dans ces deux cas, les éliminateurs (centres d'incinération, par exemple) doivent disposer d'une autorisation cantonale. Cette autorisation n'est nécessaire que pour les éliminateurs. Pour les simples collecteurs (certains centres de remise, revendeurs, fabricants et certaines communes), l'autorisation n'est pas requise (article n°7).

Le canton doit s'assurer de la bonne qualité des installations des centres d'élimination pour délivrer l'ordonnance. Les contrôles des installations sont fréquemment renouvelés puisque l'autorisation peut être accordée pour cinq ans au maximum.

### 3. L'exportation des vieux ordinateurs

#### 3.1. Introduction

Un nouveau fléau touche l'environnement. Il s'agit de l'exportation de déchets notamment informatiques dans des pays défavorisés où le recyclage n'est pas effectué de manière respectueuse de l'environnement ni même de la santé. Il existe bien évidemment un tout autre type d'exportation qui est celui des dons d'ordinateurs en état de fonctionnement. Ce type d'exportation ayant un but caritatif n'est pas celui traité dans ce chapitre.

#### 3.2. Les exportateurs et importateurs

Un nombre impressionnant d'ordinateurs est envoyé chaque année dans des pays défavorisés pour son recyclage. Le principal exportateur est sans doute les Etats-Unis avec environ 40 millions d'ordinateurs qui traversent leur frontière dans le but d'être recyclés. Ce chiffre représente 80% des ordinateurs jetés en une année dans ce pays<sup>1</sup>. Même si les chiffres sont toujours à manipuler avec précaution, il n'en reste pas moins que les Etats-Unis occupent la première place des exportateurs de déchets informatiques. Le Japon, la Corée du Sud et Singapour peuvent également être cités comme exportateurs.

De nombreux autres pays doivent certainement figurer sur la liste, mais ils ne sont mentionnés dans aucun des documents à ma disposition. Les principales destinations de ces vieux ordinateurs sont la Chine, l'Inde, le Pakistan et l'Afrique.

---

<sup>1</sup> Peter S. Goodman – 2003. Se servir de la Chine comme une décharge d'ordinateurs (titre traduit de l'Anglais) Nouvelle Commerciales Toxiques ([http://www.ban.org/ban\\_news/china\\_serves.html](http://www.ban.org/ban_news/china_serves.html))



En Chine Guiyu (situé à quatre heures de route au nord-est de Hong-kong, au bord du fleuve Lianjiang, voir figure 2) a subi une véritable reconversion. Ce lieu représente une véritable plaque tournante du commerce des déchets informatiques. Karadi et New Dehli représentent, elles, les principales destinations indiennes. L'Afrique est citée dans les documents, mais aucune précision n'est ajoutée en ce qui concerne des lieux africains précis. La même remarque vaut pour le Pakistan.

### 3.3. Des USA jusqu'à la Chine

Les ordinateurs américains (pour la plupart) sont envoyés par bateaux jusqu'à certains ports chinois. Ces ports sont situés à l'est de la Chine, dans le delta des Perles (figure 2).



**fig 2 (au-dessus).** Guiyu se trouve dans la région de Guangzhou (source : [http://membres.lycos.fr/claudentaconne/images/dumonde/carte\\_chine.htm](http://membres.lycos.fr/claudentaconne/images/dumonde/carte_chine.htm))

**fig 3 (ci-contre).** Ahmadabad (source : Encyclopédie ENCARTA 2001 DE LUXE)

Les lots d'ordinateurs sont ensuite achetés par des grossistes puis dispatchés afin d'être recyclés dans plusieurs localités chinoises (ex. Guiyu).

On se rend compte en voyant cette filière qu'il ne s'agit pas d'un petit commerce, mais d'un véritable réseau qui prend de plus en plus d'ampleur. Les filières sont certainement semblables en ce qui concerne les autres pays. Pour l'Inde, l'un des ports où arrivent les lots d'ordinateurs est Ahmedabad (figure 3).

### **3.4. Les raisons de l'exportation et de l'importation d'ordinateurs usagés**

Les raisons qui poussent certains pays industriels à exporter leurs vieux ordinateurs sont totalement immorales. Le but de ces pays est en effet de protéger leur environnement tout en payant un prix minimum pour le recyclage de leurs déchets informatiques. La seule solution que beaucoup de gros industriels ont trouvée pour satisfaire la bonne santé de l'environnement et de leur porte-monnaie est l'exportation dans des pays plus défavorisés. En effet, s'il n'y a pas, ou peu, de vieilles carcasses d'ordinateurs dans leur pays, les industriels ne risquent pas de polluer leur environnement et de plus, le coût de l'exportation revient à un dixième du coût de recyclage (chiffre donné pour les Etats-Unis).

On assiste là, à une véritable exploitation de la part des pays industrialisés sur certains pays du Sud. Une question peut se poser : pourquoi des pays tels que l'Inde ou la Chine par exemple acceptent ce trafic de déchets ?

(En réalité, ces deux pays interdisent l'importation, mais cependant les filières d'exportation, souvent clandestines, parviennent à fournir le pays en vieux ordinateurs. cf 3.6)

Pour les « recycleurs » chinois, indiens, pakistanais, etc., le recyclage représente une source de revenu. En Chine, par exemple, un recycleur gagne trois ou quatre fois le salaire d'un Chinois travaillant dans une rizière (Ollivier 2003). Pour eux, l'importation de rebuts informatiques est donc bénéfique. Cela leur permet de vivre. Il est certain que le recyclage leur permet de vivre, mais à quel prix ?

### **3.5. Le recyclage archaïque et ses conséquences**

Le recyclage est effectué sans aucune précaution. Les méthodes de recyclage sont primitives. Elles entraînent de graves conséquences sur l'environnement tout comme sur la santé. Certains déchets inutilisables sont jetés dans les fleuves, les champs, etc. L'eau potable est contaminée. A Guiyu par exemple, l'eau potable doit être acheminée depuis les villages ou villes voisines (Ollivier 2003). D'autres déchets sont jetés dans des feux à ciel ouvert (par exemple le plastique) ou amoncelés dans les rues. Cet amoncellement représente un vrai danger. Il y a tout d'abord des risques d'infiltration de certains produits toxiques dans le sol. De plus, l'exposition de certaines pièces électroniques au soleil peut provoquer des explosions. C'est le cas des piles au lithium qui à une certaine température causent d'impressionnantes explosions. Selon un reportage de France 2 (France 2, 2003), en France, les piles peuvent être stockées à l'air libre, mais elles se trouvent dans des sacs étanches et de plus, le sol est protégé pour éviter les infiltrations. Il est donc facile de s'apercevoir du fossé qui existe entre un recyclage européen et un recyclage des pays du tiers-monde.

Ces méthodes archaïques sont très dangereuses pour la santé. Le port d'un masque n'est que peu fréquent et le démontage se fait à mains nues avec, la plupart du temps, un simple tournevis. Les travailleurs sont en contact direct avec des produits très toxiques. Les émanations des feux en sont un bon exemple.

Les maladies causées par le manque de protection touchent de plus en plus de gens. Les personnes concernées sont bien évidemment les recycleurs, mais également les villageois qui utilisent de l'eau polluée pour laver leurs légumes ou qui respirent les émanations des feux. Les maladies dont souffrent tous ces gens sont notamment les cancers, la tuberculose, les maladies respiratoires en tout genre, les maladies qui attaquent la peau, etc. Les femmes enceintes peuvent donner la vie à des bébés souffrant de malformations. La mort infantile est aussi une des conséquences de ce recyclage primitif et dangereux.

Les méthodes utilisées sont choquantes par rapport à celles utilisées dans les pays industrialisés. Dans des installations modernes tout ou presque est récupéré. Un bon exemple est le recyclage des piles. La première étape du recyclage des piles est la fusion.

On fait fondre les piles à une température de presque 1450°C afin de séparer les constituants métalliques (essentiellement du fer, du manganèse et du zinc). Cette fusion provoque la fonte du fer et du manganèse alors que le zinc s'évapore sous forme de poussières. Toutes ces poussières sont bien évidemment récupérées grâce à des filtres et ensuite revendues afin de refaire des piles. En voyant la complexité du recyclage des piles, on peut bien s'imaginer que dans les pays du tiers monde, les poussières de zinc par exemple ne peuvent pas être récupérées puisque les feux ont lieu en plein air. Dans les pays industrialisés, même lorsqu'une usine d'incinération brûle les produits non recyclables, les fumées qu'elle rejette ne sont pratiquement composées que de vapeur d'eau.

Les conditions de travail sont très difficiles pour les recycleurs. En plus des maladies dont ils peuvent souffrir, les horaires sont pénibles. En effet, certains doivent travailler de nuit afin de ne pas être repérés ou alors doivent se cacher dans des établis poussiéreux pour accomplir leur travail.

### **3.6. Les mesures prises contre cette exploitation**

De nombreuses mesures sont prises afin de protéger l'environnement et les individus des dangers d'un recyclage archaïque.

Dans le paragraphe concernant les exportateurs (cf. 3.2), l'Europe n'est pas citée. En effet, les pays de l'Union européenne ont l'interdiction d'exporter des déchets dans des pays pauvres depuis 1994. Les pays européens font partie de la convention de Bâle<sup>1</sup> qui a été créée en 1989 suite à de nombreux scandales pendant les années 80 à propos des déchets toxiques.

Après ces scandales, certains pays ont fait la demande de la mise en place d'une législation plus sévère en ce qui concerne les déchets toxiques. A la suite de cette demande, des délégués d'une conférence internationale ont mis en place la convention de Bâle.

Les buts de cette convention sont de réduire les mouvements « transfrontières » de déchets dangereux, de s'assurer d'un recyclage respectueux de l'environnement et de la santé et de limiter les déchets dangereux à la source, c'est-à-dire de produire de la façon la plus propre possible .

---

<sup>1</sup> OFEFP – 9 mars 2002. *Qu'est-ce que la convention de Bâle ?* (<http://www.umwelt-schweiz.ch/imperia/md/content/buwalcontent/folder/02-12-09basel/5.pdf>) ; SCADPlus : *Convention de Bâle* (<http://europa.eu.int/scadplus/leg/fr/lvb/l28043.htm>) ; Secreteriat of the Basel Convention – 10 juin 2003. *Status of Ratifications* (<http://www.basel.int/ratif/ratif.html>).

La conférence interdit généralement l'exportation de ces rebuts vers un état non partie de la convention, tout comme l'importation en provenance d'un état non partie (il existe des possibilités d'accord entre parties et non parties si ces accords ne vont pas à l'encontre de la convention).

Une exportation peut avoir lieu entre parties si et seulement si l'Etat d'importation donne son accord. Cela demande toute une procédure (formulaires de notification, par exemple).

Pour qu'une exportation ou une importation puisse être autorisée, il faut que le pays importateur soit en mesure de recycler ces déchets sans danger. Un transport sans risque doit aussi être assuré. Il existe donc une réelle coopération entre les parties de la convention afin d'assurer une bonne gestion des déchets dangereux.

Concrètement, la convention de Bâle incite les pays à former du personnel compétant dans le domaine du recyclage. Des centres de formation ont été créés en Slovaquie, au Nigeria, en Uruguay, en Chine, etc. Ces centres forment des douaniers et des spécialistes des déchets. Des douaniers bien formés sont évidemment indispensables si l'on veut réduire les mouvements « transfrontières » et éviter tout trafic illégal. Les spécialistes des déchets sont tout aussi importants. Les mouvements « transfrontières » posent moins de problèmes si l'on sait que les déchets sont éliminés et recyclés en bonne et due forme.

Le problème de cette convention qui nous paraît pourtant nécessaire, est que certains pays ne peuvent pas l'appliquer. En effet, certains pays en voie de développement, par exemple, n'ont pas les moyens pour en assurer une bonne application. Les moyens techniques et financiers manquent.

Cette convention a donc ses limites même si elle représente une avancée dans le monde du recyclage des déchets informatiques par exemple et de tout autres déchets dangereux.

Le graphique de la figure 4 présente la répartition des membres de la convention de Bâle. On voit sur celui-ci que 37 pays d'Afrique ont ratifié la convention. La majorité de ces pays ne peuvent certainement pas contrôler le respect de cette convention. Même si la convention est adoptée en théorie, dans les faits, cette convention n'a certainement que peu d'effet. L'Afrique n'est pas un cas isolé. La Chine a par exemple ratifié cette convention et pourtant elle représente la destination favorite des exportateurs de e-déchets.

En conclusion, de nombreux pays certainement pleins de bonne foi ont ratifié la convention de Bâle, mais la majorité peine à la faire appliquer et respecter.

Le BAN (Basel Action Network) est un organisme qui s'assure que la Convention de Bâle soit appliquée et qui essaie de persuader un nombre maximum de pays de la ratifier et de l'appliquer le plus tôt possible.

Le nombre de pays que regroupe cette convention s'élève à 157. L'Europe et la Suisse adhèrent à celle-ci. Quant aux USA, ils n'ont pas ratifié, à ce jour, le texte de la convention. Ce fait explique qu'ils puissent exporter leurs déchets à leur guise. Certains Etats américains ont pourtant adopté une loi régissant l'exportation de déchets dangereux.

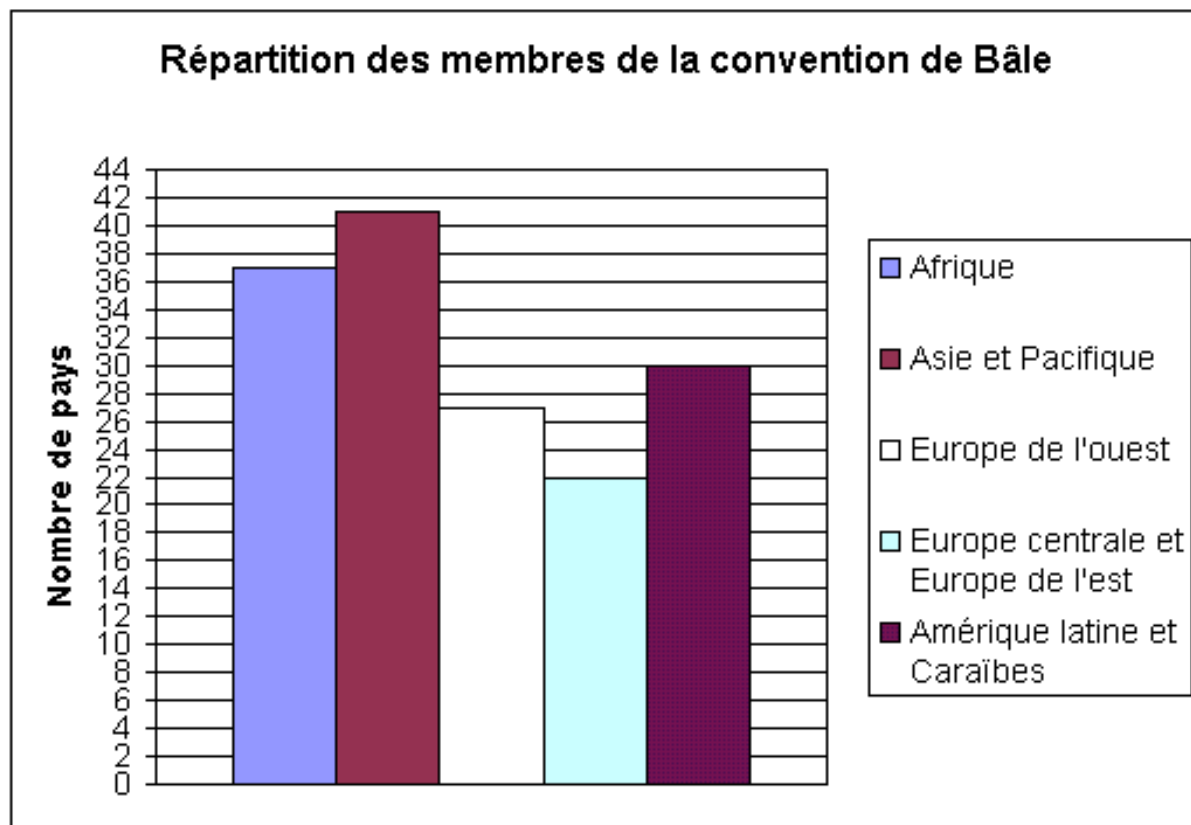


fig 4. Membres de la convention de Bâle

Le BAN travaille en collaboration avec d'autres organismes tels que la SVTC (Silicon Valley Toxics Coalition<sup>1</sup>), Scope (Pakistan), Toxics Link India, Greenpeace-Chine et bien d'autres.

La SVTC a été formée en 1982 à la suite de la découverte d'eaux souterraines contaminées par des compagnies de technologie de pointe. Elle se soucie essentiellement des problèmes sanitaires et environnementaux causés par la technologie de pointe et par l'électronique. Son objectif principal est d'obtenir une production plus « propre » et ainsi de réduire les problèmes causés par ces nouvelles technologies. Elle agit aux USA et dans le reste du monde.

Les trois autres organismes cités à la page précédente veulent atteindre les mêmes buts que la SVTC. Ils agissent essentiellement dans leur pays, mais cela peut entraîner des répercussions sur le trafic des e-déchets et sur leur recyclage; En incitant les fabricants à remplacer les produits toxiques par d'autres composants, on peut, par exemple, réduire les conséquences du mauvais recyclage dans les pays du Sud.

### 3.7. Ce que dit la loi...

Il existe dans certains pays une réglementation sur l'exportation et l'importation de déchets dits dangereux. En Suisse, par exemple, les articles n° 9,10 et 11 de l'OREA ont comme sujet l'exportation des déchets électroniques.

<sup>1</sup> Silicon Valley Toxics Coalition - dernièrement modifié le 30 septembre 2003. <http://www.svtc.org>

Plus précisément, l'article n°9 a comme thème l'autorisation d'exporter, le n°10 concerne les documents de suivi et enfin le n°11 les tâches des bureaux de douane. En Suisse, pour avoir le droit d'exporter, il faut posséder une autorisation accordée par l'Office fédéral. Cette autorisation est octroyée lorsqu'une série de conditions est remplie. L'une d'elle est l'approbation par écrit du pays d'importation et des pays de transit. L'exportation ne doit pas non plus aller à l'encontre de décisions ou d'accords internationaux.

Dans la majorité des cas, l'exportateur est tenu de se servir de documents de suivi. Lorsque des documents de suivi sont nécessaires et ne sont pourtant pas joints ou lorsqu'il n'y a pas l'autorisation de l'Office fédéral, les douaniers doivent s'opposer à l'exportation. Ces trois articles nous prouvent qu'il existe un réel contrôle des mouvements « transfrontières » des déchets provenant de la Suisse.

La Suisse n'est bien évidemment pas le seul pays à réglementer l'exportation. Ce fait a été constaté dans le chapitre 3.6. En effet, les pays d'Europe ayant signé la Conférence de Bâle s'engagent à respecter les réglementations concernant les mouvements « transfrontières » imposées par cette dernière. Tout comme la Suisse, certains pays ont une loi qui peut être comparée à l'OREA.

En ce qui concerne les USA, ils ne possèdent pas de réglementation fédérale sur le recyclage des appareils électroniques et par conséquent des ordinateurs. Il existe cependant dans certains Etats des réglementations sur la récupération et le recyclage de ces appareils. Ils interdisent par exemple de jeter les appareils électriques dans des décharges ou encore mettent en place des programmes de récupération et de recyclage. L'interdiction de se débarrasser des ordinateurs usagés (entre autres) dans les décharges influence certainement le taux d'exportation. La mise en place des programmes de récupération et de recyclage montre une volonté des Etats de traiter les déchets électroniques chez eux, ce qui engendre certainement une diminution de l'exportation. Des Etats tels que le Minnesota, le Massachusetts ou encore la Floride font partie de cette minorité américaine soucieuse de l'environnement et de la santé d'autrui, tandis que la majorité préfère se débarrasser de leurs rebuts à moindre coût.

Il n'y a pas que les pays exportateurs qui peuvent réglementer les mouvements « transfrontières » des déchets. Certains pays qui sont touchés par l'exportation de déchets notamment informatiques mettent en place des réglementations interdisant l'importation de ces appareils. C'est notamment le cas de l'Inde et de la Chine.

Certes, il faut reconnaître que cette interdiction n'est pas respectée et que les filières clandestines sont d'autant plus importantes, mais elle montre une préoccupation de ces pays en matière d'environnement et de santé publique.

Pourquoi cette interdiction n'est-elle pas respectée ?

Il y a plusieurs raisons à cela. L'une d'entre elles est le manque de moyens financiers. Une autre raison est le manque de personnel qualifié pour surveiller l'arrivée de déchets et pour remonter à la source des filières. Les pays d'importation étant des pays du tiers-monde, on peut supposer qu'il existe également une corruption au niveau des autorités.

#### 4. Le métier de recycleur

Le métier de recycleur a été créé, car un manque de personnes qualifiées se faisaient sentir dans les entreprises de recyclage.

En Suisse, les premières formations ont commencé en 2000. Les premiers CFC de recycleur / recycleuse qualifié(e) ont donc été délivrés en 2003. L'apprentissage dure trois ans et peut débuter après la scolarité obligatoire (tableau 2)<sup>1</sup>. Les apprentis se rendent une fois par semaine à l'école professionnelle. L'école professionnelle qui dispense les cours théoriques à ces apprentis recycleurs est l'EPAI (Ecole professionnelle artisanale et industrielle de Fribourg).

A la fin de son apprentissage, le recycleur est capable de rassembler, trier, traiter et de transporter des matériaux et substances recyclables. Quant aux matières non recyclables, le recycleur les transporte dans un site d'évacuation (centre d'incinération, par exemple).

Un recycleur peut travailler dans l'industrie, le commerce, l'artisanat, les entreprises publiques, etc. Il peut être amené à travailler à l'intérieur, tout comme à l'extérieur.

Pour être maître d'apprentissage, il faut être un recycleur avec au moins trois ans d'expérience professionnelle. Selon le règlement d'apprentissage, une personne du métier qui a à son actif au moins cinq ans d'expérience dans le domaine professionnel correspondant peut également former des apprentis.

| Branches                                 | 1 <sup>ère</sup><br>année | 2 <sup>e</sup><br>année | 3 <sup>e</sup><br>année | Total des<br>leçons |
|--|---------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|
| Sciences naturelles                      | 40                        | 80                      |                         | 120                 |
| - Bases de la chimie                     |                           |                         |                         |                     |
| - Bases de la physique                   |                           |                         |                         |                     |
| - Bases de l'électronique                |                           |                         |                         |                     |
| Calculs et comptabilité d'exploitation   |                           |                         | 40                      | 40                  |
| Ecologie / protection de l'environnement | 40                        |                         | 40                      | 80                  |
| Etude des matières secondaires           | 40                        | 40                      |                         | 80                  |
| Processus et moyens d'exploitation       | 40                        | 40                      |                         | 80                  |
| Domaine libre *                          |                           |                         | 80                      | 80                  |
| Culture générale                         | 120                       | 120                     | 120                     | 360                 |
| Gymnastique et sport                     | 40                        | 40                      | 40                      | 120                 |
|  |                           |                         |                         |                     |
| Total                                    | 320                       | 320                     | 320                     | 960                 |
| Jour d'école par semaine                 | 1                         | 1                       | 1                       |                     |

**tab 2.** Répartition des cours théoriques (\* le domaine libre correspondant à la spécialisation choisie par l'apprenti) (Office fédéral de la formation professionnelle et de la technologie)

Plusieurs spécialisations peuvent être choisies, dont celle qui concerne le matériel électrique et électronique. A la suite de son apprentissage de recycleur, l'apprenti pourra devenir contremaître ou chef d'équipe. Si l'apprenti possède une maturité professionnelle, il lui est possible d'entreprendre des études dans une HES (Haute école spécialisée) pour, par exemple, devenir ingénieur HES en gestion de la nature.

Le métier de recycleur est malheureusement très peu connu. Ce fait explique certainement le peu d'apprentis dans ce domaine. Actuellement, seulement vingt-quatre jeunes Suisses ont choisi cette voie, soit seize Alémaniques et huit Romands.

<sup>1</sup> Office fédéral de la formation professionnelle et de la technologie – 12 janvier 2000. Recycleur / Recycleuse Règlement d'apprentissage et l'examen de fin d'apprentissage. pp 2 et 13.

## 5. Les produits toxiques dans un ordinateur

Le tableau 3 montre quelques produits toxiques contenus dans un ordinateur. Cette liste n'est bien évidemment pas exhaustive, mais elle est bien représentative de ce que peut contenir un ordinateur, appareil commun à nos yeux.

| Nom        | Classe de toxicité  | Où peut-on les trouver ?   |
|------------|---------------------|--|
| cadmium    | 1                   | Dans les piles, accumulateurs et dans les tubes cathodiques      |
| mercure    | 2                   | Du mercure est également présent dans les relais ou commutateurs |
| plomb      | 2                   |  |
| yttrium    | 3                   | Dans les tubes cathodiques                                       |
| europium   | Aucune info trouvée |  |
| gadolinium | 4                   |  |
| plastiques |                     | Ils composent notamment la "carcasse de l'ordinateur"            |
| baryum     | 2                   | Dans les tubes cathodiques                                       |
| arsenic    | 1*                  | On trouve certains circuits intégrés en arséniure de gallium     |
| cobalt     | 3                   | On peut en trouver dans les haut-parleurs                        |
| lithium    | 2                   | Dans des piles et accumulateurs                                  |

**tab 3.** Les produits toxiques contenus dans un ordinateur

A noter que les niveaux de toxicité peuvent changer selon la forme du produit, par conséquent les valeurs des classes de toxicité du tableau sont une moyenne des différentes classes de toxicités des diverses formes des produits. De plus, ces moyennes sont arrondies afin d'obtenir un nombre entier, étant donné que les classes de toxicité sont exprimées en nombres entiers (de 1 à 5).

En fonction de leur degré de toxicité, les substances toxiques sont réparties en cinq classes différentes (Aerni *et al.*) :

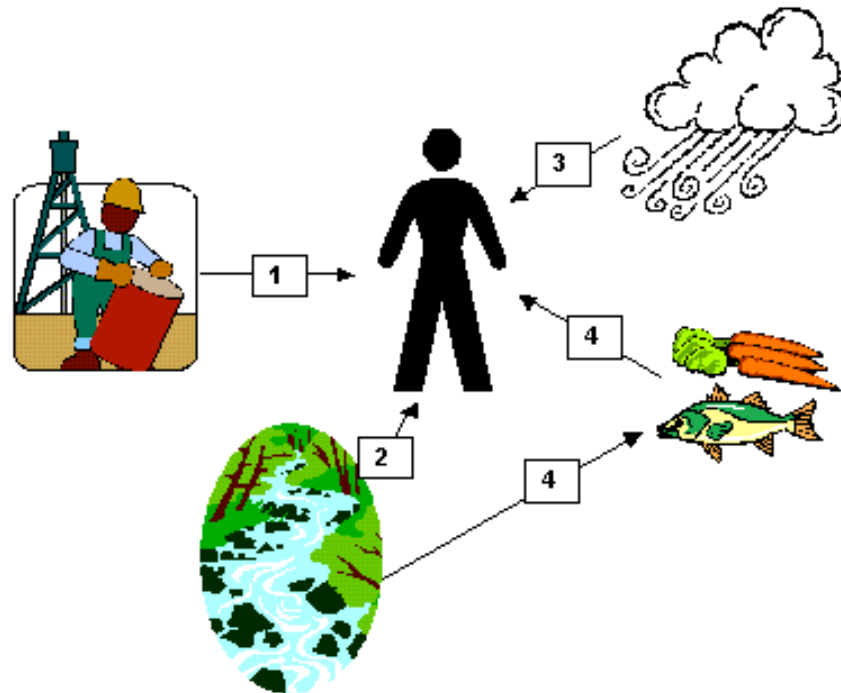
1. Poisons extrêmement puissants (1\* cancérigènes, mutagènes, tératogènes)
2. Poisons très puissants
3. Poisons puissants
4. Substances et produits critiques
5. Substances et produits à faible danger

### 5.1. Les effets de ces produits toxiques

Les effets de certains produits contenus dans le matériel informatique sont impressionnants. Certains effets ont déjà été cités dans le chapitre concernant l'exportation des déchets comme les maladies (du système nerveux, de la peau, du système respiratoire, etc.) ou encore le risque de contamination du sol et des eaux (cf. 3.5). Cette contamination peut atteindre les cultures, les animaux et par conséquent les gens.

Il est important de ne pas minimiser ces effets. Il ne faut pas une grande quantité de produit toxique pour contaminer le sol. Une pile par exemple peut contaminer à elle seule un ou plusieurs mètres-cubes (France 2, 2003). La figure 5 présente les différents modes de contamination touchant l'homme.





**fig 5.** Les sources de contamination

L'homme peut être contaminé de quatre manières différentes. Il y a un risque de contamination que l'on pourrait qualifier de directe et trois autres contaminations indirectes.

Le travail sans protection adéquate constitue le risque de contamination directe (1). Les produits peuvent entrer en contact direct avec la peau (absorption cutanée). Des fumées toxiques peuvent également être inhalées (absorption par les voies respiratoires).

Les contaminations indirectes, comme leur nom l'indique, touchent l'homme par le biais d'un intermédiaire. Cet intermédiaire peut être l'eau, le sol (2) ou l'air (3). En effet, même si l'on ne travaille pas avec des produits toxiques, on peut, par exemple, en respirer les fumées (absorption par les voies respiratoires), boire de l'eau contaminée (absorption orale). Comme vu précédemment ce phénomène se passe très fréquemment dans des pays du Sud où aucune mesure de sécurité n'est prise. Les gens se lavent avec de l'eau qui contient de nombreux produits toxiques, ils y lavent même leur nourriture. En ce qui concerne les fumées, ils les respirent quotidiennement à cause des feux à ciel ouvert par exemple.

Lorsque le sol et l'eau notamment sont contaminés, les cultures et les êtres vivants peuvent également être atteints (4). Les organismes aquatiques sont très touchés par les rejets de produits toxiques dans l'eau. En étant en contact avec ces produits, ils peuvent contaminer toute une chaîne alimentaire pour ensuite atteindre l'homme.

Remarque : L'eau et le sol sont représentés par une seule image, mais le sol ne peut pas vraiment contaminer l'homme si ce n'est par l'intermédiaire des cultures ou des organismes qui y vivent. L'eau au contraire peut contaminer l'homme si celui-ci s'en sert pour se laver, laver ses aliments ou encore s'il la boit sans qu'elle ne subisse aucun traitement.

## 6. Expérimentation, compte-rendu d'observation

### 6.1. Objectifs

Tester le niveau de toxicité de divers produits et pièces électroniques contenus dans un ordinateur sur une bactérie très fréquente des sols. Pour cela, il nous a fallu une souche de bactérie (*Bacillus mycoïdes*). Une fois que l'on a à disposition une souche, l'examen de celle-ci est indispensable afin de déterminer si on est en présence d'une souche pure. Les examens de la souche terminés, la bactérie est repiquée dans un milieu liquide (Nutrient Broth). On la laisse ensuite quelques jours se développer, puis on étale environ 1ml de culture sur du Nutrient Agar afin d'obtenir un voile bactérien. Une substance toxique est ensuite déposée sur le voile bactérien et les résultats observés. La figure 6 montre schéma de la préparation des tests.

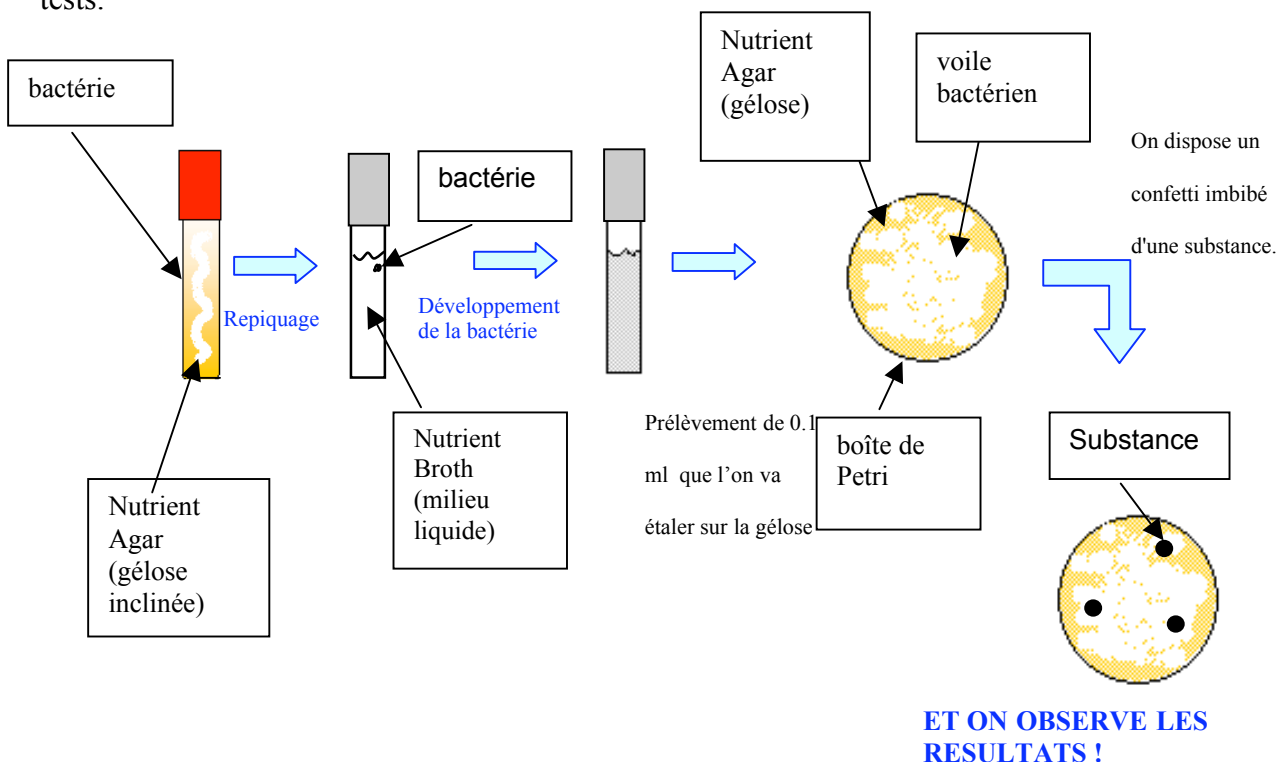


fig 6. Schéma de la préparation des tests

### 6.2. Conditions générales

Date : L'expérimentation a débuté le 22 juillet 2003

Lieu : Lycée Blaise-Cendrars, La Chaux-de-Fonds

Nom de l'observant : Elsa Rouvinez

Nom des personnes sollicitées : F. Straub, M. Fontela, Mara Gosparini

La bactérie utilisée provient de la terre vers les haies situées du côté ouest du lycée. Elle a poussé lors d'essais réalisés par des étudiants en classe pendant l'année 2002-03. Il s'agit d'un *Bacillus mycoïdes*. Cette bactérie a été choisie car elle est très reconnaissable de par son aspect filamenteux. De plus elle représente une bactérie courante de nos sols.

### 6.3. Etapes de l'expérimentation

1. Préparation d'un milieu de culture
2. Mise en culture de bactéries
3. Repiquage dans des tubes de gélose inclinée (Nutrient Agar)
4. Frottis
5. Préparation de Nutrient Broth (NB)
6. Repiquage de la bactérie dans du NB (bactéries provenant de la souche n°3, car c'est la seule souche sur laquelle aucun individu étranger n'a été observé)
7. Préparation de Nutrient Agar (NA)
8. Stérilisation des boîtes de Petri, baguettes coudées, pipettes
9. Préparation des produits
10. Préparation des boîtes-tests
11. Observation des résultats

Remarque : Lors de mon expérience, certaines étapes n'ont pas été effectuées. En effet, j'avais à disposition une culture de *Bacillus mycoïdes* réalisée par des étudiants en classe pendant l'année 2002-03, une quantité suffisante de Nutrient Broth ainsi que des pipettes, des baguettes coudées et des boîtes de Petri stérilisées.

### 6.5. Résultats

#### 6.5.1. Résultats des frottis

##### Description :

Le premier frottis n'a pas paru très réussi. J'ai observé un manque de coloration, le frottis était très pâle. Au microscope, j'ai essentiellement observé des spores. Ils sont de la forme d'un petit grain de riz. Quelques restes de colorant ont également été observés. A certains endroits, la présence de staphylocoques en petite quantité peut être supposée.

Le deuxième frottis s'est légèrement mieux coloré. On observe des filaments de cellulose entortillés sur eux-mêmes. Les spores sont toujours majoritairement présents. D'autres individus ont pu être observés, mais pas nommés. Ces individus ont la forme d'un petit haricot et sont plus grands que les spores.

Sur le troisième frottis, seuls des spores et des filaments de cellulose ont été observés.

##### Discussion :

La mauvaise qualité du premier frottis peut être expliquée par la présence presque exclusive de spores. En effet, les spores ne se colorent que peu au bleu de méthylène. Seules les extrémités sont bien colorées. La présence de spores s'explique étant donné que la bactérie repiquée est un bacille. La présence presque exclusive de ces spores s'explique par le fait qu'on est en présence d'une bactérie vieillissante. La présence de staphylocoques n'est pas certaine, mais l'observation laisse croire à quelques staphylocoques isolés. Quelques-uns ont semblé être observés en petits groupes, le plus souvent composés de trois individus.

Cette souche n'est donc certainement pas pure et a donc été étudiée comme une population standard à majorité de *Bacillus mycoïdes*.

La deuxième souche examinée ne comporte pas non plus une seule sorte d'individus. Le troisième frottis quant à lui peut être supposé comme souche pure étant donné qu'au niveau de la plaquette, aucun individu étranger n'a été observé.

Les filaments de cellulose proviennent certainement d'un vêtement ou de papier. Ces filaments ont bien évidemment été malencontreusement introduits dans les tubes ou alors se sont déposés sur les plaquettes lors de la préparation des frottis.

L'observation des trois frottis a dû être rapide, parce qu'au contact de l'huile à immersion, la coloration devenait de plus en plus faible.

#### *6.5.2. Résultats des tests de toxicité avec des confettis imbibés de produit*

##### Description :

Les premiers tests présentent des coulures. Il n'y a pas de surfaces régulières sur lesquelles la bactérie ne pousse pas.

##### Discussion :

Les résultats obtenus lors de ces premiers essais sont contraires à ce qu'obtenait un élève (pour son travail personnel) ayant effectué le même type de tests cependant avec des antibiotiques et bien évidemment d'autres bactéries. Cet élève obtenait de belles surfaces régulières que l'on pouvait relativement facilement mesurer. (Hachem 1997).

Le problème a été résolu avec l'aide de Manon, laborantine en biologie exerçant son métier au Lycée Blaise-Cendrars. Contrairement à une première estimation, où M. Straub, professeur de biologie et moi-même avions pensé verser sur le Nutrient Agar de la boîte de Petri 1ml de Nutrient Broth contenant la bactérie, Manon m'a conseillé de ne verser que 0.1ml.

##### Description:

Les quatre produits testés sont : du nitrite de mercure ( $\text{HgN}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), du sulfate de cuivre ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ), du sulfate de cadmium ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) et du chlorure mercurique ( $\text{HgCl}_2$ ). Ces produits ont été choisis en fonction des produits à disposition. Cependant, j'ai choisi des produits appartenant à des classes de toxicité différentes. Seule exception : le  $\text{HgN}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  et le  $\text{HgCl}_2$  sont certainement de la même classe.

La première constatation est que l'aire dans laquelle la colonie bactérienne ne peut pas se développer diminue lorsque la concentration devient plus faible (cf. Annexe, III).

Si on compare l'aire « déserte » à 0.1M/l pour le  $\text{HgN}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , le  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  et le  $\text{HgCl}_2$ , on peut remarquer que celle-ci est à peu près semblable pour le  $\text{HgCl}_2$  et le  $\text{HgN}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  alors que l'aire déserte à cette même concentration pour le  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  est nettement inférieure.

Aux mêmes concentrations, les aires désertes pour le  $\text{HgN}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  et le  $\text{HgCl}_2$  sont toujours à peu près équivalentes. Les concentrations maximales en M/l auxquelles les produits testés n'ont plus d'effet sur la bactérie sont les suivantes :

|  |                           |
|--|---------------------------|
| $\text{HgN}_2\text{O}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ : | entre 0.0001 et 0.000001  |
| $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ :          | entre 0.01 et 0.001       |
| $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ :         | entre 0.00002 et 0.000002 |
| $\text{HgCl}_2$ :                                    | Au-dessous de 0.000001    |

### Discussion :

Si l'on trace un graphique des résultats en utilisant une échelle logarithmique sur l'abscisse pour chaque produit, on obtient une courbe régulière dans les quatre cas (cf. Annexes 9. V). Il existe une relation positive entre la concentration et l'aire déserte (si la concentration diminue, l'aire déserte diminue).

Grâce à ces graphiques, on pourrait déterminer l'aire déserte à certaines molarités sans les tester, mais en s'inspirant du graphe. On pourrait ainsi déterminer plus ou moins précisément la concentration à laquelle le  $\text{HgCl}_2$  n'a plus d'effet. On pourrait également déterminer plus précisément la concentration à laquelle le  $\text{HgN}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  n'a plus d'effet car pour ce produit la concentration 0.00001 M/l n'a pas été testée et la concentration maximale qui n'a aucun effet sur la bactérie se trouve aux environs de cette concentration-ci.

Remarque : l'échelle logarithmique a été utilisée pour des raisons pratiques. Elle nous permet d'obtenir des intervalles réguliers entre les concentrations testées et par conséquent d'obtenir des points relativement rapprochés.

Les résultats obtenus pour le  $\text{HgCl}_2$  et le  $\text{HgN}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , comme mentionné précédemment, sont très proches. Cela peut paraître cohérent étant donné qu'il s'agit dans les deux cas de sels de mercure. Cette hypothèse peut être confortée par la comparaison des classes de toxicité des différentes formes sous lesquelles se trouve le mercure.

En effet, toutes les formes de mercure se trouvent dans la classe de toxicité 2 et par conséquent on peut dire que les produits à base de mercure sont tous plus ou moins équivalents au niveau de leur toxicité.

Pour une comparaison plus approfondie de ces deux produits, il serait intéressant de pouvoir comparer une de leurs doses létales, par exemple la DL50 oral rat<sup>1</sup>. Malheureusement, aucune donnée concernant une dose létale pour le  $\text{HgN}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  n'a été trouvée.

Le fait que le  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  ait moins d'effets que les produits à base de mercure peut également s'expliquer. Le  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  se trouve dans la classe de toxicité 3 et non pas 2 comme pour les deux produits précédents. Si l'on compare ici les DL50 oral rat, la différence est flagrante :

- DL50 oral rat pour le  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  = 960 mg/kg
- DL50 oral rat pour le  $\text{HgCl}_2$  = 1 mg/kg

Il est difficile de comparer le  $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  avec les autres produits car il n'a pas été testé aux mêmes molarités. La raison est simple : il ne restait pas assez de produit pour obtenir une solution de 0.1 M/l. Le produit restant a donc été pesé et la concentration maximale calculée par rapport à la masse.

---

<sup>1</sup> « La DL50 (dose létale 50) est en fait la quantité de toxique (exprimée en mg/kg) provoquant la mort de 50% des animaux d'expérience dans un délai de cinq jours ». (Aerni)

La « DL50 oral rat » est donc la quantité de toxique provoquant la mort de 50% des rats d'expérience dans un délai de cinq jours. Le toxique est ici avalé (oral) par le rat.

En comparant la dose maximale à laquelle il n'agit plus sur la culture, on peut classer le  $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  entre le  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  et les substances à base de mercure. En s'intéressant aux DL50 oral rat, on obtient le même classement (DL50 oral rat du  $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  = 280 mg/kg).

On obtient donc le classement suivant (du plus toxique au moins toxique) :

1. Nitrite de mercure / chlorure mercurique ( $\text{HgN}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  /  $\text{HgCl}_2$ )
2. Sulfate de cadmium ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ )
3. Chlorure mercurique ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )

### 6.5.3. Résultats des tests de toxicité avec des pièces électroniques

#### Description :

Les pièces ont été choisies de manière totalement aléatoire. J'ai démonté un modem et utilisé certaines pièces qu'il contenait (M. Straub m'a fourni une pile au lithium). Les pièces testées sont : deux transistors différents, un circuit intégré dans son boîtier, un condensateur électrolytique, une pile au lithium, un petit rectangle jaune et un plus grand rectangle jaune.

Remarque préliminaire : les mots « petit rectangle jaune » et « grand rectangle jaune » ne sont bien évidemment pas les noms de ces pièces, mais celles-ci n'ont pas pu être identifiées, c'est pourquoi elles seront nommées ainsi tout au long du compte-rendu d'observations.

La pièce qui crée la plus grande aire déserte est la pile au lithium. Cette aire représente la surface de la boîte entière. Les autres pièces testées ne créent pas de grandes aires désertes. Le transistor 3.3 50S 6Ko ainsi que le petit rectangle jaune n'ont que peu d'effet alors que les autres pièces n'en ont aucun.

#### Discussion :

Dans le cas de la pile au lithium, on aurait peut-être pu obtenir une plus grande aire déserte si le test avait été effectué dans une plus grande boîte de Petri.

A part la pile au lithium, les pièces testées n'ont que peu ou pas d'effet. Une des raisons est peut-être leur taille. Etant toutes petites, elles ne peuvent contenir qu'une faible quantité de substance toxique. De plus, les pièces testées ne représentent certainement pas les pièces les plus dangereuses étant donné qu'elles constituent des éléments courants des circuits électroniques. Pour obtenir des pièces vraiment dangereuses, il aurait fallu démonter un tube cathodique par exemple. Ceci n'a pas été réalisé par mesure de sécurité. Mes faibles connaissances en matériel électronique ne me permettaient pas d'effectuer un tel démontage.

Une autre supposition peut être que dans la pile, le métal est à l'état de sel, et par conséquent plus ou moins soluble. Les substances qu'elle contient peuvent donc facilement se diffuser dans le milieu. Dans d'autres composants, le métal est peut-être à l'état solide donc réduit et par conséquent peu soluble. Pour se diffuser, il doit d'abord s'oxyder puis se libérer de sa masse. Ce fait pourrait expliquer que certains composants soient moins toxiques ou en tout cas à court terme.

En ce qui concerne le circuit intégré, essentiellement composé de silicium, il n'est certainement pas très dangereux. De plus, il était dans son boîtier qui doit être en plastique. Donc même si le circuit intégré avait été plus dangereux, le boîtier aurait certainement protégé les bactéries.

Si l'on s'intéresse aux transistors, on obtient un résultat quelque peu surprenant. Les deux transistors n'ont pas le même effet. Le transistor 3.3 50S 6Ko a plus d'effet sur la bactérie que le 1016 S 6G9. Il est impossible de donner une explication certaine, mais on est en présence de deux transistors différents et peut-être composés de substances différentes ce qui expliquerait le phénomène. Une autre raison pourrait être le simple hasard. En effet, même au contact du même produit, les bactéries ne réagissent pas toujours exactement de la même façon (il y a toujours une petite différence entre les aires désertes créées par une même substance).

Le résultat obtenu lors du test avec le condensateur électrolytique est également étonnant car les condensateurs électrolytiques contiennent essentiellement des matières toxiques et notamment de l'acide chlorhydrique. Il ne faut surtout pas stocker ce type de produit en plein air, sous la pluie, sous les intempéries, car il se forme alors une oxydation et de l'électrolyse .

Pour obtenir un effet plus important, on pourrait essayer de laisser la boîte de Petri ouverte afin que le condensateur soit " à l'air libre ". Dans ce cas, la boîte de Petri ouverte devrait être déposée dans une hotte à flux laminaire afin d'éviter toute contamination par un individu étranger.

Les résultats obtenus grâce aux petit et grand rectangles jaunes ne peuvent pas être analysés étant donné qu'on ne possède aucune information sur eux.

## **6.6. Conclusion du compte rendu**

Les tests de toxicité ont bien réussi. Il est cependant difficile d'évaluer le danger des produits contenus dans un ordinateur sur l'homme ou sur les écosystèmes naturels étant donné que ces produits ont été testés sur une bactérie.

De nombreux tests peuvent encore être effectués à l'aide d'autres produits contenus dans un ordinateur.

On pourrait également tester les effets de ces substances sur d'autres organismes vivants (dans les limites de l'éthique bien sûr).

## **7. Conclusion**

Les questions préliminaires (cf. 1) ont toutes été traitées dans mon travail, mais à des degrés différents.

Les questions relatives aux filières de récupération et de recyclage sont les plus profondément traitées et constituent l'essentiel de mon travail.

En ce qui concerne la question économique (Le recyclage est-il un marché lucratif en Suisse ?), il est difficile de répondre à celle-ci. Job-eco a délibérément spécifié que leur entreprise n'avait aucun but lucratif, cependant je n'ai pas désiré m'aventurer sur ce sujet délicat. Même si je l'avais fait, il aurait été difficile de vérifier la véracité des propos des entreprises.

D'autres questions préliminaires se regroupaient sous le thème de la toxicité. L'une d'entre elles (Quels sont les effets des produits toxiques sur la nature et la santé ?) a donné naissance à une expérimentation. Un classement des substances testées a pu être établi et vérifié grâce à

certaines données (doses létales, classes de toxicité). Ces tests n'ont cependant pas totalement répondu à la question concernée.

En effet, les effets sur la santé ne peuvent pas être établis à l'aide de tests sur une bactérie. Pour déterminer les effets sur la santé, il m'a donc fallu me référer à la littérature.

En ce qui concerne les effets sur la nature, l'expérimentation donne des réponses partielles. Elle nous montre que certains produits d'un ordinateur ont divers effets sur une bactérie donnée (*Bacillus mycoïdes*). Les bactéries étant des organismes de la nature, on peut donc dire que l'expérimentation a légèrement contribué à la réponse de la question concernant les effets de certains produits.

Pour déterminer les matières toxiques d'un ordinateur, la littérature a été nécessaire. L'expérience a vérifié que certains produits donnés comme toxiques le sont bien sur le *Bacillus mycoïdes*.

Des thèmes inattendus ont surgi lors de l'élaboration du travail. C'est le cas notamment du thème traitant le métier de recycleur.

D'autres notions ont également été traitées car le travail l'exigeait. Je ne pouvais pas parler du recyclage en Suisse sans mentionner SWICO ni l'OREA.

Au fil du travail, des interrogations et des notions inconnues sont donc apparues.

Au point de vue personnel, j'en retire une entière satisfaction. Mon travail a demandé une interdisciplinarité que je souhaitais dès le départ. La discipline principale a bien évidemment été la biologie, cependant l'élaboration de mon travail m'a permis de mettre le nez dans des textes de lois par exemple. Mon travail a également nécessité un regard socio-économique pour le chapitre concernant l'exportation des e-déchets.

Enfin la préparation des produits pour les tests de toxicité m'a permis de revoir quelques notions de base de la chimie. Le partage entre recherche documentaire et expériences a également été très enrichissant. Ces deux aspects ont été totalement complémentaires pour ce travail.

Si je devais citer un point négatif, cela serait certainement le manque de moyens et surtout de connaissances pour réaliser une expérience qui montrerait la réelle toxicité de certains produits sur l'organisme humain. Les tests sur bactérie m'ont quand même apporté beaucoup de satisfaction. La plus grande surprise de l'expérimentation a certainement été le nombre d'étapes nécessaires avant de réaliser les tests proprement dits.

En effet, avant de commencer l'expérimentation, je pensais pouvoir tester de nombreux produits, mais cela s'est révélé impossible. Heureusement, que M. Straub m'avait informé du travail à effectuer avant les tests, sinon je ne me serais certainement pas organisée efficacement.

L'encadrement de mon travail de maturité par des personnes compétentes a donc été très important.



## 8. Bibliographie

### Articles

Anonyme (2003). Appareils électriques et électroniques. *Construire*, 19, 6 mai, p. 55.

Anonyme (2003). Piles et accus le retour Objectif 80%. *Energie environnement*, automne-hiver, p. 24-25.

Ollivier, S. (2003). Le royaume des e-déchets. *Science & Vie*, n°1026, mars, p. 154-160.

Perrin, J.C. & Droz, C.-L. (2003). Job-Eco défend son job avec conviction. *L'Impartial*, n°38322, 5 mars, p. 5.

Wenger, J.-L. (2000). Recycleur : un métier d'avenir. *Construire*, 39, 26 septembre, p 25 – 26.

### Internet

Anonyme - 2002. Des millions d'ordinateurs déferlent dans les pays du Sud. *Le courrier* (<http://www.lecourrier.ch/modules.php?op=modload&name=NewsPaper&file=article&sid=1578>)

OFSP, Liste des toxiques IGS (<http://igs.naz.ch/tox/fr/index.html>)

Anonyme - 2002. Sud de la Chine : la ville de Guiyu, capitale mondiale du recyclage artisanal des déchets électroniques. Forum déchets.ch [http://www.forumdechets.ch/actualites/index?news=2002\\_09\\_01](http://www.forumdechets.ch/actualites/index?news=2002_09_01)

République et canton du Jura, Les appareils électriques et électroniques. Office des eaux et de la protection de la nature ([http://www.jura.ch/services/oepn/pp\\_electr.htm](http://www.jura.ch/services/oepn/pp_electr.htm))

ISF – mars 2003. Rapport sur la « fin de vie » des ordinateurs. [http://isf.etu.inpg.fr/rapport/rapport\\_ordi\\_pdf](http://isf.etu.inpg.fr/rapport/rapport_ordi_pdf)

Recyc-Québec Fiche d'information / Les appareils de technologie et de l'information [http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/Upload/Publications/zFiche\\_458.pdf](http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/Upload/Publications/zFiche_458.pdf)

Centre de production documentaire sur les études et professions avec la collaboration des offices d'orientation scolaire et professionnelle – dernière mise à jour : 31 mars 2003. Recycleur, Recycleuse (<http://orientation.icare.ch>)

Association Mayenne Point Org – 2003. Soirée conférence débat ECOLONET /La fin de vie de nos produits de communication électronique. [http://www.mayenne.org/ecolonet/soiree130303\\_fichiers/030328\\_document-ecolonet.doc+Condensateurs+%C3%A9lectrolytiques+dangers&hl=fr&lr=lang\\_fr&ie=UTF-8](http://www.mayenne.org/ecolonet/soiree130303_fichiers/030328_document-ecolonet.doc+Condensateurs+%C3%A9lectrolytiques+dangers&hl=fr&lr=lang_fr&ie=UTF-8)

### Documents audiovisuels

France 2 / On vous dit pourquoi – 9 novembre 2003. Le scandale des piles polluantes.

### Ouvrages et brochures

Henri Aerni *et al.* Matériaux Notions de chimie. La Chaux-de-Fonds, p. 27- 40.

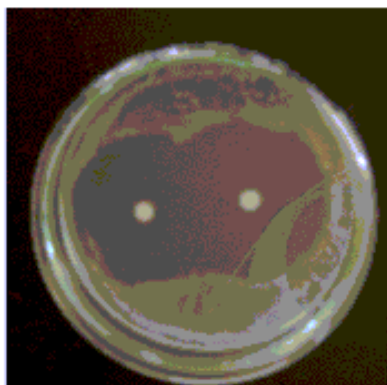
Maher Hachem – mars 1997. Tests antibiotiques sur des bactéries et techniques de bactériologie.

Jean Pantillon *et al.* – septembre 2001. Travaux pratiques de microbiologie. Expérience 8.

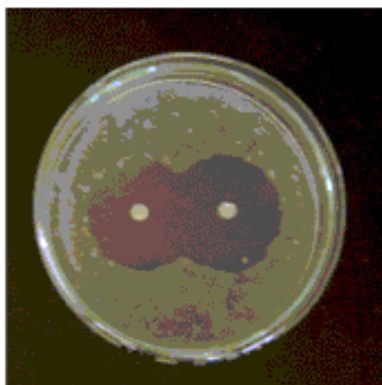
VSMR – avril 03. La recycleuse Le recycleur. Berne p 3 –11.

VWR International – 2002. Produits chimiques et réactifs 2002.

**Annexe** : Photos des tests de toxicité avec des confettis imbibés de produits



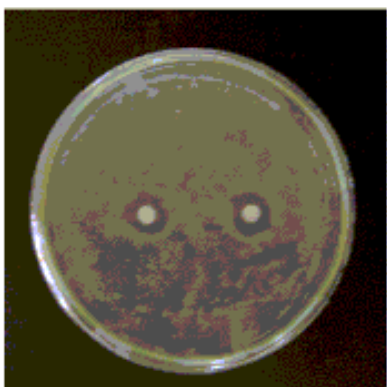
**Photo 1.1**



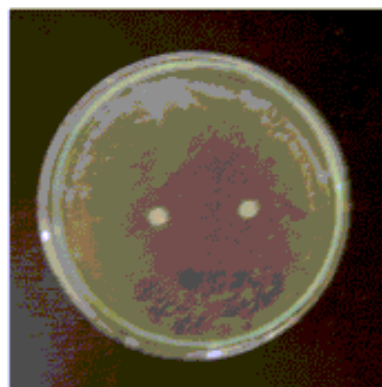
**Photo 1.2**



**Photo 1.3**



**Photo 1.4**



**Photo 1.5**

Ces photos représentent le phénomène qui a lieu lorsqu'on diminue la concentration d'un produit. Les effets diminuent nettement pour enfin ne plus agir (voir la dernière photo).

Sur cette suite de photos le même produit est testé à différentes concentrations. Le produit ici testé est du  $\text{HgN}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  et les molarités sont les suivantes :

- 1.1** 0.1 M/l
- 1.2** 0.01 M/l
- 1.3** 0.001 M/l
- 1.4** 0.0001 M/l
- 1.5** 0.00001 M/l