

Module 8 - Section 3 :

Connaître les facteurs de détérioration et diagnostiquer les dégâts

ANNE-MARIE BRULEAUX
ANDREA GIOVANNINI



version 1

14 novembre 2011

Table des matières

1. Les grands facteurs communs de détérioration des documents 7

1.1. La température.....	7
1.2. L'humidité.....	8
1.2.1. L'humidité absolue.....	8
1.2.2. L'humidité saturante.....	9
1.2.3. Qu'est-ce que l'humidité relative ?.....	9
1.2.4. Le point de rosée.....	10
1.2.5. L'utilisation du diagramme de Mollier.....	11
1.2.6. L'influence de l'humidité relative sur la conservation.....	13
1.3. La lumière.....	14
1.3.1. Quelques notions de physique.....	15
1.3.2. Les diverses sources lumineuses.....	20
1.3.3. L'influence de la lumière sur la conservation.....	23
1.4. La pollution atmosphérique.....	24
1.4.1. Les poussières.....	26
1.4.2. Les polluants atmosphériques.....	27
1.4.3. L'influence de l'air pollué sur la conservation.....	32
1.5. Les facteurs biologiques.....	32
1.5.1. Les micro-organismes.....	33
1.5.2. Les insectes.....	38
1.5.3. Les rongeurs et autres animaux.....	44
1.6. Les facteurs humains.....	46
1.6.1. Les dommages mécaniques.....	46
1.6.2. Les dommages chimiques.....	50
1.6.3. Les dommages dus aux autocollants.....	51
1.6.4. Les dommages dus aux photocopies.....	53
1.6.5. Les dommages dus aux réparations «bricolées» et aux restaurations non conservatives.....	53
1.6.6. Les dommages dus aux manipulations.....	55
1.6.7. Les dommages dus à l'utilisation.....	55

2. La détérioration des matériaux 57

2.1. Le papier.....	57
2.1.1. Les facteurs endogènes.....	57
2.1.2. Les facteurs internes.....	58
2.1.3. Les facteurs externes.....	59
2.2. Le parchemin.....	63
2.2.1. Les altérations causées par la chaleur.....	63
2.2.2. Les altérations causées par l'humidité et l'eau.....	63
2.2.3. Les altérations biologiques.....	64
2.2.4. Les encres métallo-galliques.....	64
2.2.5. La pollution atmosphérique.....	65
2.2.6. Les altérations mécaniques.....	65

2.3. Autres matériaux.....	65
3. Evaluer les conditions de conservation dans son service	69
Méthode d'évaluation des pratiques de conservation préventive dans un service d'archives.....	69
4. Evaluation des connaissances	71
Les galeries associées à ce module	75

Objectifs

Description du module:

La conservation des documents d'archives est l'une des missions fondamentales de l'archiviste. Cette conservation doit tout d'abord être préventive, car mieux vaut prévenir que guérir, autrement dit préserver les documents des détériorations plutôt que d'avoir à les restaurer. Il convient donc de mener une politique de préservation, véritable stratégie qui prend en compte les considérations techniques mises en œuvre par la conservation préventive, mais va au-delà en s'appuyant sur une collaboration interdisciplinaire et un partage des responsabilités : concrètement elle se traduit par la mise en place de programmes et d'outils d'évaluation.

Le but du module est de:

- aider à évaluer la situation en matière de conservation dans son service
- permettre de concevoir et de mettre en œuvre une politique de préservation

L'apprenant doit être en mesure de:

- comprendre ce qu'est la conservation préventive
- distinguer les différents types de supports et de matériaux
- identifier les facteurs de détérioration des documents et comprendre leur nocivité
- lutter contre les facteurs de détérioration
- programmer la restauration des documents
- prévoir les sinistres et réagir en cas d'urgence.

Positionnement:

Ce module s'inscrit naturellement dans la chaîne archivistique : après la collecte et le traitement intellectuel des archives, il est essentiel de se préoccuper de leur conservation avant d'envisager leur communication et leur valorisation auprès du public. Il se prolonge par deux modules sur le microfilmage et la numérisation, dans la mesure où ces deux techniques permettent d'organiser au mieux l'articulation entre la conservation des originaux et leur communication au public.

Conseils d'apprentissage:

Ce module est très dense. Nous conseillons de lire d'abord les pages principales, puis de revenir sur les encarts si l'on veut davantage d'informations. De plus, il peut aussi être considéré comme une ressource pour répondre ponctuellement à un problème de conservation dans un service d'archives : dans ce cas les sections 3 et 4 pourront être particulièrement utiles pour établir un diagnostic et programmer les actions de lutte et de prévention.

En plus des éléments bibliographiques ci-après, les autres références plus ciblées d'ouvrages ou de sites web sont indiquées dans le cours.

1. Les grands facteurs communs de détérioration des documents



Le vieillissement des matériaux dont sont faits les documents est un phénomène

- naturel
- inévitable
- irréversible

Toutefois, les conditions de stockage, de conservation et d'utilisation des documents sont déterminantes pour la durée de vie des documents et la rapidité de leur

vieillissement.

Le même journal, conservé dans de bonnes conditions, ne s'altérera qu'au bout de quelques années seulement.

Un certain nombre de facteurs externes participent donc à l'altération de tous les documents, quel que soit leur support.

Les facteurs externes de l'altération des documents sont :

- Les facteurs climatiques : température et humidité
- La lumière
- La pollution atmosphérique
- Les facteurs biologiques
- Les facteurs humains
- Les catastrophes

Nous nous attacherons tout d'abord à décrire ces facteurs, avant de voir leur influence sur chaque type de support.

A. 1.1. La température



Les facteurs climatiques comprennent :

- **La température**
- **L'humidité relative** de l'air
- L'humidité est un facteur essentiel de détérioration des documents, mais son action variant avec la température, on ne peut dissocier ces deux facteurs.

La température joue un rôle important dans le déclenchement et la vitesse des réactions chimiques : **plus**

elle est élevée, plus les réactions sont rapides.

Théoriquement, une température aussi basse que possible serait souhaitable **pour la conservation documents d'archives traditionnels**. Dans la pratique, l'humidité de l'air étant plus difficile à maîtriser à basse température, on conseille **16°C à 18°C** pour les magasins d'archives, soit environ quatre degrés de moins que pour les salles de consultation.

Les normes françaises, par exemple, prévoient une température de 18° C avec une variation possible d'1° C en plus ou en moins.

Il est essentiel de prévoir un écart de température assez faible entre les magasins d'archives et les salles de consultation, à cause des **chocs thermiques** qui sont très dommageables aux documents.

Le problème est particulièrement ardu dans les pays tropicaux et équatoriaux où une température de 22° C dans les salles de lecture est ressentie comme trop fraîche par les êtres humains par rapport à l'air extérieur.

On peut alors envisager de conserver les documents à une température un peu plus élevée

(22° C), mais en maintenant de façon très rigoureuse le taux d'hygrométrie à un seuil acceptable.

On peut aussi prévoir un emballage de protection ou un conteneur spécial et un temps d'attente assez long entre la sortie du magasin et la consultation en salle de lecture, afin d'**éviter un choc thermique trop violent**.

B. 1.2. L'humidité



L'humidité relative de l'air (HR) est le facteur le plus important pour la conservation des documents d'archives, car elle joue un rôle décisif dans la plupart des processus de dégradation.

L'air ambiant n'est généralement pas totalement sec: il absorbe une certaine quantité de **vapeur d'eau** qui varie fortement en fonction de sa température.

Quelques concepts et définitions sont indispensables pour

aborder la climatologie.

1. 1.2.1. L'humidité absolue

L'humidité absolue est la quantité réelle de vapeur d'eau présente dans une masse d'air.

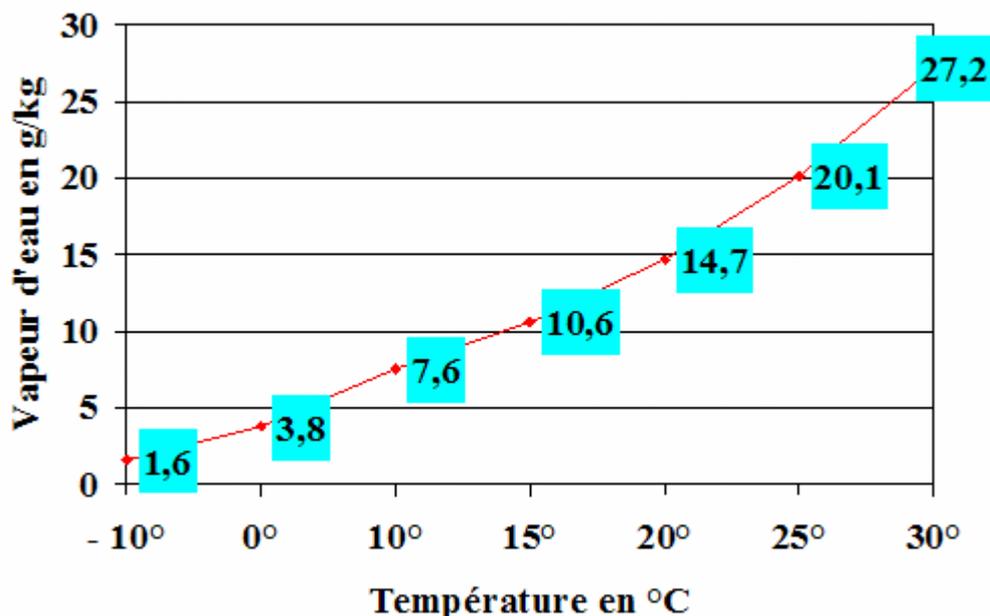
Elle ne varie pas avec la température.

Elle peut être mesurée en grammes par m³ d'air sec ou en grammes par kg d'air sec.

2. 1.2.2. L'humidité saturante

L'eau s'évapore dans l'atmosphère jusqu'à ce que soit atteinte une proportion maximale de vapeur d'eau dans l'air. C'est ce qu'on appelle **l'humidité saturante** qui correspond à **la capacité maximale d'absorption de la vapeur d'eau dans une masse d'air à une température donnée**. L'humidité saturante varie donc avec la température.

Le graphique suivant montre, pour une température donnée, la quantité maximale de vapeur d'eau exprimée en grammes par kg d'air sec pouvant être absorbée à différentes températures.



Pour une température donnée, quantité maximale de vapeur d'eau en grammes par kg d'air sec

On peut faire les deux constatations suivantes :

1. **Plus l'air est chaud, plus sa capacité à retenir la vapeur d'eau est grande** : à 20° C, 1 kg d'air sec peut absorber jusqu'à 14,7 grammes de vapeur d'eau.
2. **A l'inverse, plus l'air se refroidit, plus sa capacité à retenir l'eau diminue** : à 10° C, 1 kg d'air sec ne peut plus absorber que 7,6 grammes de vapeur d'eau.

3. 1.2.3. Qu'est-ce que l'humidité relative ?

Il faut avoir parfaitement compris les notions d'humidité absolue et d'humidité saturante avant d'aborder celle de l'humidité relative :

Définition : L'humidité absolue et l'humidité saturante

- L'humidité absolue est une donnée factuelle, le constat d'une réalité objective, indépendamment de tout facteur.
- L'humidité saturante est une donnée physique, intangible et déterminée par les lois naturelles.

L'humidité relative rend compte du rapport entre ces deux données : la quantité effective de vapeur d'eau contenue dans un volume d'air donné (l'humidité absolue) et la quantité maximale que ce même volume peut contenir à une température donnée (humidité saturante).

L'humidité relative se traduit par un pourcentage :

humidité absolue x 100 / humidité saturante

C'est aussi ce qu'on appelle le **taux d'hygrométrie**.

Exemple

- Nous sommes dans une pièce où il fait 20°C. L'air de cette pièce contient 7,35g par kg d'air sec (humidité absolue).

A 20°C, on sait que l'air peut absorber au maximum 14,7g de vapeur d'eau par kg d'air sec

(humidité saturante, selon diagramme (cf. 'diagramme humidité saturante' p 79)).

L'humidité relative se calcule ainsi :

$$\frac{7,35 \times 100}{14,7} = 50$$

Nous avons une humidité relative de 50%.

- Refroidissons maintenant cette même pièce jusqu'à 10°C. La pièce étant restée fermée, l'air contient toujours 7,35g de vapeur d'eau (humidité absolue). On sait qu'à cette température, l'air ne peut absorber que 7,6g de vapeur d'eau (humidité saturante, selon diagramme (cf. 'diagramme humidité saturante b' p 79)).

L'humidité relative est de :

$$\frac{7,35 \times 100}{7,6} = 96\%$$

Plus l'humidité relative est grande, plus l'air est humide.

4. 1.2.4. Le point de rosée

Nous savons qu'à 10°C l'humidité saturante est à 7,6g par kg d'air sec (diagramme). Imaginons qu'en ouvrant une porte nous faisons entrer de l'air humide, tout en maintenant la température à 10°.

Si l'air atteint EFFECTIVEMENT 7,6g de vapeur d'eau par kg d'air sec (humidité absolue), il a atteint sa capacité maximale d'absorption : on dit que **l'air est saturé**.

L'humidité relative se calcule ainsi :

$$\frac{7,6 \times 100}{7,6} = 100$$

On a 100% d'humidité relative. C'est ce qu'on appelle le **point de rosée**.

Inversement on pourra dire aussi que lorsque l'on a une humidité absolue de 7,6g par kg d'air sec, la **température de rosée** est à 10°.

Lorsque l'on atteint 100% d'humidité relative, la moindre chute de température provoque la **condensation** de la vapeur et l'apparition de minuscules gouttes d'eau. Il s'agit du **phénomène de rosée**.

Complément : Quelques effets du phénomène de rosée

Le phénomène de rosée ou de condensation peut produire différents effets :

Par exemple :

Si nous reprenons l'exemple de notre pièce, refroidissons-la jusqu'à 8° C sans assécher l'air. Celui-ci contient toujours 7,6g de vapeur d'eau par kg d'air sec (humidité absolue). On sait qu'à cette température, il ne peut absorber que 6,7g de vapeur d'eau par kg d'air sec (humidité saturante).

L'humidité relative est de :

$$\frac{7,6 \times 100}{6,7} = 113\%$$

Dès que l'humidité relative dépasse 100% se produit un phénomène de condensation : la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air est supérieur à celle qu'il peut absorber et il y a formation de **brouillard**.

Voyons maintenant ce qui se passe lorsque nous entrons dans notre voiture garée en plein air un matin d'hiver. Au début, l'air est froid à l'extérieur et à l'intérieur de la voiture. Notre entrée et la mise en route du chauffage provoquent un réchauffement de l'air, ainsi qu'une légère augmentation de l'humidité absolue à cause de notre respiration. Les vitres restent froides : à leur contact la vapeur d'eau contenue dans l'air à l'état gazeux à l'intérieur de la voiture se condense en fines gouttelettes qui forment une **buée** sur la vitre.

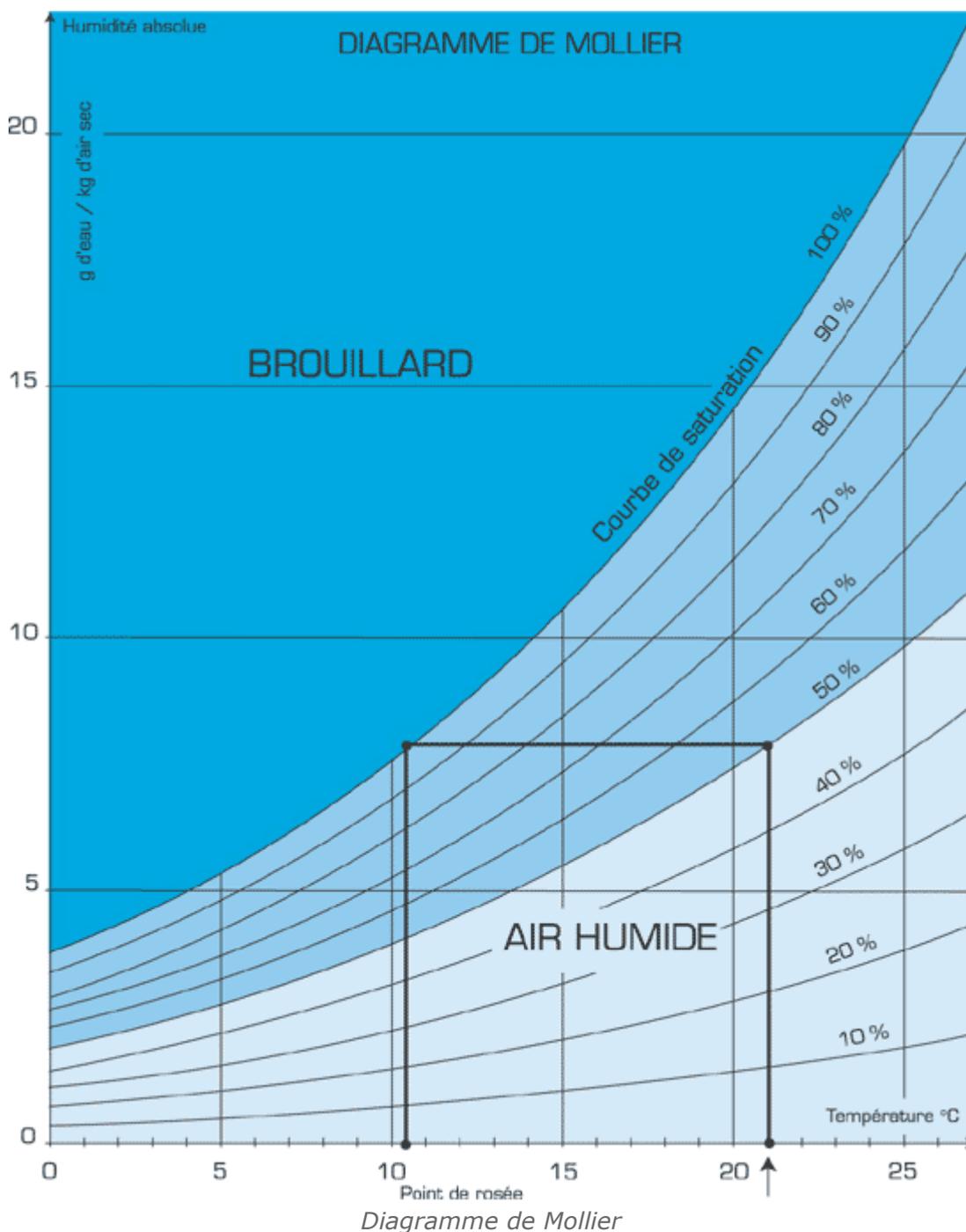
Pour lutter contre ce phénomène, nous avons à notre disposition plusieurs moyens :

- Essuyer la vitre avec un chiffon pour enlever la buée, mais celle-ci se reforme presque instantanément, car les conditions climatiques n'ont pas changé.
- Ouvrir une fenêtre de la voiture : cela provoque une chute de température et rétablit un certain équilibre entre la température de l'air ambiant et celle des vitres, qui ne jouent plus leur rôle de point de condensation.
- Chauffer le pare-brise en déclenchant le système de désembuage, afin qu'il ne soit plus un point de condensation.

Prenons enfin l'exemple d'un registre conservé dans de bonnes conditions dans un magasin à 18°C et 50% d'humidité relative. Sortons-le brusquement à l'extérieur dans un air ambiant à 30°C et 80% d'humidité relative, situation très fréquente en pays tropicaux et équatoriaux, conditions auxquelles la température de rosée est à 26°. Le document étant plus froid, il va se former immédiatement à sa surface une buée. D'où l'importance d'éviter ce genre de situation et de mettre dans des conditionnements étanches et bien isolants les documents lorsque l'on est obligé de les sortir dans de telles conditions climatiques.

5. 1.2.5. L'utilisation du diagramme de Mollier

Le diagramme de Mollier met en relation température, humidité absolue et humidité relative : il permet de comprendre les interactions entre ces trois données et d'en faire une analyse exacte.



Nous allons apprendre à nous servir du diagramme de Mollier au moyen de quelques exemples simples.

diagramme de Mollier

Exemple : Premier exemple

Dans une pièce, il fait 20° C. L'air de cette pièce contient 7,35 g. de vapeur d'eau par /kg d'air sec (humidité absolue).

A 20° C, on sait que l'air peut absorber 14,7 g. de vapeur d'eau par kg d'air sec (humidité saturante).

Si dans une pièce, nous avons pu mesurer que nous avons 21° C et 50% d'humidité

relative, cherchons la température de rosée, c'est-à-dire la température à laquelle nous devons descendre pour obtenir 100% d'humidité relative et en dessous de laquelle il y aura condensation.

Nous pouvons aussi connaître l'humidité absolue, c'est-à-dire la quantité réelle de vapeur d'eau présente dans la pièce. Le diagramme de Mollier est particulièrement utile pour connaître cette donnée, car généralement elle ne fait pas l'objet de mesures : les appareils indiquent la température et l'humidité relative, pas l'humidité absolue. La connaissance de cette donnée peut être importante pour déterminer s'il faut assécher l'air, ou au contraire, l'humidifier.

Connaître les phénomènes climatiques permet de comprendre les problèmes qui peuvent se poser dans un magasin d'archives :

Exemple

Nous avons pu déterminer par des mesures que dans notre magasin d'archives, nous avons une température de 18° et un taux d'hygrométrie de 50%, a priori donc les conditions climatiques idéales pour la conservation des papiers. D'après le diagramme de Mollier, cela correspond à une humidité absolue de 9g/kg. Mais les appareils de mesure ont été placés au centre du magasin, dans un endroit bien protégé des influences extérieures éventuelles. Si, en plein hiver, nous effectuons des mesures tout près d'une fenêtre, il se peut que nous ayons seulement une température de 15°. Il y a de fortes chances que l'humidité absolue soit identique à celle qui règne dans le reste du magasin, soit 7g/kg. Or à 15°, l'humidité saturante est de 10,6g/kg. Nous aurons alors dans cet endroit précis une humidité relative de

$$\frac{7 \times 100}{10,6} = 66\%$$

Autre calcul

, soit presque 66%. C'est ce qu'on appelle **une poche d'humidité**.

Le même phénomène peut se produire près d'un mur extérieur mal isolé et exposé au nord, ou près de la porte d'entrée du magasin, par exemple.

L'utilisation du diagramme peut aussi permettre d'interpréter correctement les données fournies par les appareils de mesure et d'éviter des décisions mal fondées.

Exemple

Dans une pièce fermée, on a pu mesurer une température de 17°C et un taux d'hygrométrie de 80%. A l'extérieur, il fait 25°C et l'on a un taux d'hygrométrie de 60%. On pourrait penser qu'il fait plus sec à l'extérieur et décider de faire entrer de l'air dans la pièce, tout en maintenant la température à 17°C. Reportons-nous au diagramme de Mollier : nous constatons que dans la pièce, nous avons une humidité absolue de 10g/kg d'air sec, alors que dehors nous atteignons 12g/kg d'air sec. Contre toute apparence, l'air est donc plus humide à l'extérieur qu'à l'intérieur. Si nous faisons entrer de l'air, nous allons rendre la pièce plus humide et nous risquons même d'atteindre le point de rosée.

6. 1.2.6. L'influence de l'humidité relative sur la conservation

Pour une bonne conservation des documents d'archives traditionnels sur papier et parchemin, on considère que l'humidité relative doit être maintenue **de manière constante** à un taux de **50 % avec une variation acceptable de 5 % en plus ou en moins**.

Les dégâts causés par une mauvaise régulation de l'humidité relative peuvent être

multiples.

1.2.6.1. Les dégâts

Une **sécheresse** excessive (HR inférieure à 40%) provoque l'évaporation des molécules d'eau liés par des ponts hydrogènes qui se trouvent dans les fibres des matériaux, notamment **le papier qui perd alors sa souplesse et se fragilise**.

Mais c'est surtout **l'excès d'humidité** qu'il faut craindre. Au dessus de 60 à 65% d'humidité relative, les dégâts peuvent être les suivants :

- une **accélération** très importante **des réactions chimiques d'altération**;
- la **germination des spores des micro-organismes** et la création de conditions favorables au développement et à la survie de nombreux **insectes** (liens avec les parties suivantes);
- la **migration d'éléments nuisibles** toujours plus en profondeur dans l'objet : produits issus des réactions d'altération du papier, ions métalliques provenant des encres et des pigments, de polluants atmosphériques, etc. qui étendent ainsi la zone altérée;
- la **déformation par gonflement**, en particulier dans les objets composites tels que les reliures, surtout si l'humidité augmente rapidement.

1.2.6.2. Le cas des documents composites

Il convient de considérer que **de nombreux documents sont composites** et peuvent comporter, outre le papier ou le parchemin, des matériaux aux caractéristiques physiques et chimiques très différentes :

- cuirs, métaux et bois des reliures
- colles
- encres
- cire des sceaux et cachets
- matières textiles (reliures, échantillons de tissus, éléments de scellement, etc.)

Dans tous les cas, la qualité principale qui nous intéresse ici leur capacité à absorber ou à désorber l'eau sans dommage matériel important. **Toute variation de l'humidité provoque des phénomènes mécaniques :**

- une **augmentation de l'humidité** provoque une **dilatation** des matériaux
- une **diminution de l'humidité** provoque au contraire une **contraction**

Les possibilités de dilatation ou de contraction n'étant pas identiques pour tous les matériaux, autant en ampleur qu'en rapidité, ces phénomènes peuvent engendrer des **déformations** dans le cas de documents composites, reliés avec du cuir ou du parchemin par exemple.

C'est pourquoi aussi les variations brusques de la température et de l'humidité relative sont particulièrement préjudiciables aux documents.

C. 1.3. La lumière



De tous les facteurs externes de détérioration, la lumière est celui qui cause les dégâts les plus insidieux et les plus irréparables.

L'exposition à la lumière des documents déclenche une série complexe de réactions photo-chimiques aboutissant par exemple à la modification des molécules de la cellulose ou à l'effacement des pigments.

La vitesse plus ou moins grande de cette détérioration est liée

- à la température et à l'humidité de l'air ambiant
- à la nature et à l'intensité de la lumière.

1. 1.3.1. Quelques notions de physique

La lumière établit un lien entre un objet A et un récepteur B (œil, appareil photo, etc...). L'information issue de l'objet A nécessite pour activer le récepteur un **transport d'énergie**.

Suivant leurs préoccupations, les physiciens ont été amenés à élaborer différents **modèles** de la lumière :

- Le **modèle géométrique**
- c'est le modèle du rayon lumineux. Dans ce modèle la lumière se propage d'un point A à un point B suivant une ligne droite ou rayon.
- Le **modèle ondulatoire** s'est progressivement imposé devant l'impossibilité du précédent modèle à expliquer des phénomènes tels que l'arc-en-ciel, le bleu du ciel, etc...**Dans ce modèle, la propagation de la lumière s'effectue par ondes.**
- Le **modèle corpusculaire**

Élaboré au début du XX^e siècle par le physicien Planck, ce modèle considère que la lumière est formée de grains ou **photons**, d'énergie $E = h\nu$ (h est la constante de Planck, ν la fréquence de l'onde électromagnétique correspondant à cette lumière dans le modèle ondulatoire) se déplaçant à la vitesse c d'un point A vers un point B. Ce modèle permet d'expliquer certaines interactions lumière-matière telles que l'effet photoélectrique, la fluorescence, etc...

- le **modèle de l'électrodynamique quantique** plus récent (1954) s'affranchit de toutes les difficultés des autres modèles et fait la synthèse de toutes les propriétés de la lumière.

Le modèle corpusculaire permet d'expliquer les mécanismes d'émission **de la lumière** qui s'effectuent au niveau de l'atome.

Analyser la lumière, c'est connaître son contenu spectral (longueur d'onde). On utilise pour cela des spectroscopes. **La lumière visible ne représente qu'une partie du spectre du rayonnement électromagnétique solaire.**

La quantité de rayonnement reçue par un objet est un facteur décisif pour sa conservation. Il est donc important de pouvoir la mesurer.

La lumière blanche est composée de différentes couleurs qui peuvent être ramenées aux **trois couleurs primaires : le bleu, le vert, le rouge.**

Ces trois couleurs peuvent se trouver **en proportions variables** dans la composition de la lumière essentiellement à cause de l'atmosphère : les poussières en suspension, la brume absorbent les longueurs d'ondes courtes correspondant au bleu et au vert et beaucoup les longueurs d'onde longues (jaune, orange, rouge).

L'œil ne perçoit pas de changement de couleur tant que la variation n'atteint pas certaines limites. Au-delà de ces limites, il perçoit une dominante colorée.

Au lever et au coucher du soleil par exemple, les longueurs d'onde les plus courtes qui correspondent au bleu sont absorbées par l'atmosphère. La lumière nous paraît alors rouge orangée par manque de composante bleue. On dit couramment et improprement qu'à ce

moment la lumière est plus " chaude ".

La notion qui définit la composition de la lumière et ses variations est appelée "**température de couleur**".

1.3.1.1. Le modèle ondulatoire : longueur d'onde et fréquence

Dans ce modèle, la propagation de la lumière s'effectue par ondes. Un point source émet des ondes sphériques qui à grande distance peuvent être considérées comme planes. Ce principe, énoncé par Huygens en 1678, complété par Fresnel en 1818 a été parachevé par Maxwell en 1876. Dans ce modèle, **la lumière est une onde électromagnétique**, solution des équations de Maxwell.

Qu'est-ce qu'une onde ?

Si l'on jette un caillou dans l'eau, des vagues se forment et s'écartent en cercles concentriques autour de l'endroit où il est tombé. Il y a eu perturbation de la surface de l'eau.

Ceci est un exemple d'onde : **une onde est une perturbation qui se déplace.**

Une onde peut se déplacer à la surface de l'eau, comme dans l'exemple ci-dessus, dans l'air (ondes sonores) ou dans le vide (ondes électromagnétiques)

Si un bouchon flotte à la surface de l'eau ainsi perturbée, une vague va le soulever, mais il redescendra à la même place. **L'onde n'est qu'une énergie qui circule, la perturbation se déplace sans emporter de matière avec elle.**

L'énergie qu'elle transporte représente aussi de l'information pour nos sens. C'est pour cela que nous sommes dotés de récepteurs d'ondes : les yeux pour recevoir la lumière, les oreilles pour recevoir le son .

Une onde est caractérisée par plusieurs paramètres : l'amplitude a , la longueur d'onde λ , , la fréquence ν , et la période T .

Dans l'exemple de la surface de l'eau perturbée par un caillou, **l'amplitude** est la hauteur de la vague, **la longueur d'onde λ** est la distance qui sépare deux vagues successives. L'unité de mesure de la longueur d'onde de la lumière visible est le **nanomètre** (nm) qui correspond à un millionième de mm.

Si l'on reprend l'exemple du bouchon qui flotte sur l'eau, le passage de la vague va le faire monter et descendre alternativement. On appelle **fréquence ν** le nombre d'allers et de retours que fait le bouchon pendant une seconde. Plus les allers et retours du bouchon sont rapides, plus la fréquence est grande.

L'intervalle de temps entre deux maxima successifs du bouchon est appelé **période T** . **La fréquence d'une onde est donc le nombre de périodes par seconde. $\nu = 1/T$.**

L'unité de mesure de la fréquence est le **Herz**. C'est en fait une mesure de **l'énergie** qui circule.

La fréquence et la longueur d'onde des ondes électromagnétiques sont liées par la relation $\lambda=c/\nu$ (où c est la vitesse de la lumière). **Quand la fréquence augmente, la longueur d'onde diminue.**

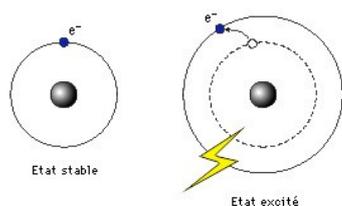
1.3.1.2. L'émission de la lumière

Le modèle corpusculaire permet d'expliquer les mécanismes d'émission de la lumière qui s'effectuent au niveau de l'atome.

- **Rappels sur le modèle de l'atome**

L'atome est constitué d'un noyau positif comportant p protons chargés positivement et n neutrons neutres, entouré de p électrons négatifs. L'ensemble est électriquement neutre. Du point de vue énergétique, l'atome présente des niveaux d'énergie correspondant à des couches électroniques sur lesquelles se répartissent les électrons : l'énergie est quantifiée.

- **Emission de la lumière**



Lorsqu'un atome est excité par un apport extérieur d'énergie, de la chaleur par exemple, les électrons passent sur des niveaux d'énergie supérieurs.

La durée de vie de ces niveaux étant très faible, ils retournent spontanément sur un niveau inférieur en émettant un photon de fréquence ν telle que la différence d'énergie entre les deux niveaux $E_1 - E_2 = h\nu$.

Il y a autant de fréquences émises que de transitions. On dit que l'on a un spectre de raies (discontinu). Chaque élément possède un spectre de raies caractéristique.

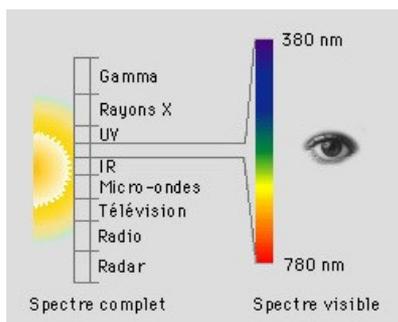
Un spectre continu correspond à un très grand nombre de niveaux préalablement excités et très proches les uns des autres. Le rayonnement thermique a un spectre continu.

• **les mécanismes d'excitation**

Les sources habituelles de lumière, que l'on peut classer en deux groupes, font appel à divers mécanismes d'excitation :

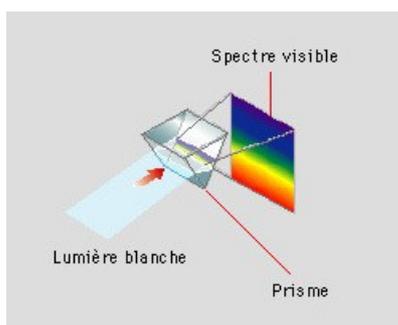
- les **sources chaudes** pour lesquelles l'excitation se fait par chocs de particules matérielles (électrons, ions, molécules) ayant été accélérées électriquement ou thermiquement.
- les **sources froides** dues à l'excitation par un rayonnement électromagnétique.

1.3.1.3. Lumière et spectres



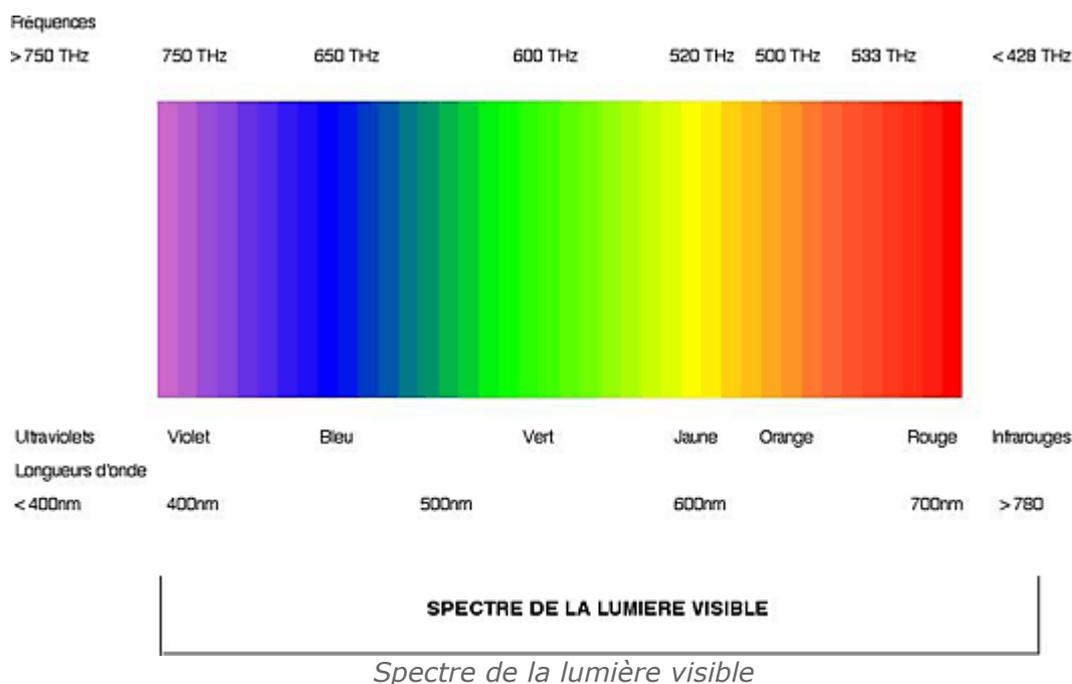
La lumière visible ne représente qu'une partie du spectre du rayonnement électromagnétique solaire selon le schéma ci-contre.

La lumière blanche, visible par l'œil humain, se compose de toutes les couleurs. Un rayon de lumière est en fait la somme de rayonnements lumineux plus simples, chacun ayant sa propre couleur.



Un arc en ciel est en réalité la décomposition de la lumière blanche par des gouttelettes d'eau en suspension dans l'atmosphère qui agissent à la manière d'un prisme. La représentation colorée de cette décomposition s'appelle un **spectre**.

Chaque couleur est caractérisée par une longueur d'onde et une fréquence.



Le spectre de la lumière visible s'étend de $\lambda=400$ à 780 nm. Les rayonnements émis par le soleil et les sources lumineuses courantes couvrent une bande plus large que celle de la lumière visible, qui englobe les **rayons ultraviolets** (UV) et **infrarouges** (IR).

Le **nanomètre** est la mesure couramment utilisée pour le rayonnement visible. Pour les rayonnements ultraviolets et infrarouges, on utilise plutôt la fréquence exprimée en Hertz.

L'énergie du rayonnement augmente avec la fréquence ($E=h\nu$), donc avec la diminution de la longueur d'onde.

A quantité égale, la lumière rouge a moins d'énergie qu'une lumière bleue ou violette. Le rayonnement infrarouge a moins d'énergie que le rayonnement ultraviolet.

Le rayonnement ultraviolet est donc particulièrement dangereux, à cause de son énergie élevée. De plus, il n'est pas perceptible par nos sens.

1.3.1.4. La mesure du rayonnement

Les unités photométriques sont définies pour la lumière blanche, visible à l'œil nu.

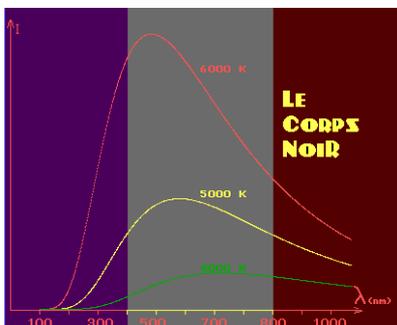
- **l'intensité lumineuse** a pour unité le **candela** ou flux rayonné par unité d'angle solide par des sources étalons (lampes électrique au tungstène) conservées dans les grands laboratoires de photométrie
- le **flux lumineux** est la quantité d'énergie lumineuse émise dans un angle solide. C'est une énergie qui s'exprime en watts. Pour la lumière blanche l'unité de flux lumineux est le **lumen**. C'est le flux émis dans un angle solide égal à l'unité par une source d'intensité 1 candela.
- **l'éclairement** est la quantité de lumière incidente sur une surface. L'unité d'éclairement pour la lumière blanche est le lux. C'est l'éclairement produit par 1 lumen tombant sur une surface d' 1m^2 .
- **l'émittance** ou flux rayonné par unité de surface d'une source étendue s'exprime en lumen par m^2 .

Pour la mesure du rayonnement ultraviolet, on utilise :

- soit le $\mu\text{W}/\text{lm}$ (microwatt par lumen) : c'est le rapport entre le rayonnement UV et la quantité totale de lumière;
- soit le $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (microwatt par mètre carré) : c'est la mesure du rayonnement UV sur une surface déterminée.

1.3.1.5. La température de couleur

La température de couleur est la température exprimée en **Kelvin** à laquelle le corps noir émet un rayonnement de composition spectrale identique à celle du rayonnement émis par la source lumineuse considérée. Il n'y a pas nécessairement de relation entre la température de couleur et la température vraie.

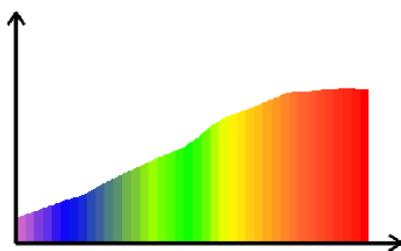


Un corps noir est un corps qui absorbe toutes les radiations et qui réémet un rayonnement en équilibre thermique, grâce à l'agitation thermique de ses atomes. La couleur de la lumière réémise, déterminée par l'ensemble des longueurs d'ondes qui la composent, est liée à la température du corps noir émetteur.

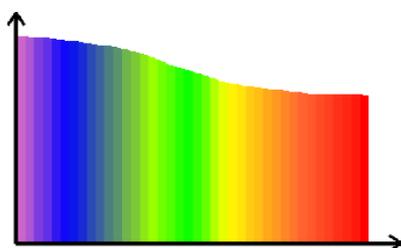
La luminance spectrale énergétique I est donnée en fonction de la longueur d'onde pour trois corps noirs de température 4000K, 5000K et 6000K (site du Comité de liaison Enseignants astronomes : <http://www.ac-nice.fr/clea/C2.html>)

En analysant le spectre émis par un corps noir, représentant une source thermique idéale, on constate que **c'est vers une température de 5500 Kelvin que ce dernier émet un spectre analogue à celui que nous recevons du soleil**. Par comparaison avec un corps noir, on peut également assigner à toutes les sources thermiques une valeur de température de couleur, exprimée en Kelvin, qui précise **la répartition spectrale des sources thermiques** : En analysant le spectre émis par un corps noir, représentant une source thermique idéale, on constate que **c'est vers une température de 5500 Kelvin que ce dernier émet approximativement la même quantité d'énergie dans toutes les longueurs d'onde**.

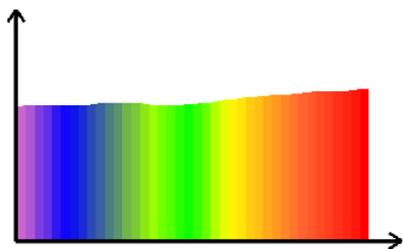
Par comparaison avec un corps noir, on peut également assigner à toutes les sources thermiques une valeur de température de couleur, exprimée en Kelvin, qui précise **la répartition spectrale des sources thermiques** :



- si la température de couleur est inférieure à **5500K**, la composition spectrale est déficitaire en radiations bleues. **La lumière a une tendance jaunâtre**. On dit improprement qu'elle est "chaude", alors que pour le physicien elle est plus froide.



- inversement, si la température de couleur est **supérieure à 5500K**, la composition spectrale est excédentaire en radiations bleues. **La lumière a une tendance bleuâtre**. On dit improprement qu'elle est "froide".



- enfin, si la température de couleur est de 5500 K, la composition spectrale est équivalente en radiations bleues vertes et rouges.

Plus la température de couleur est élevée, plus la lumière est dite " froide ", c'est-à-dire comporte de radiations d'ondes courtes correspondant au bleu.

La composition spectrale de la lumière a une influence non négligeable sur la conservation des documents.

Température de couleur des principales sources de lumière

Lumière du soleil	6000 K en moyenne
Lumière du soleil par temps couvert	4000 K en moyenne
Lumière du jour, sans soleil, à midi	6000 K
Lumière du soleil par ciel clair en haute montagne	11000 K
Lampe à incandescence de 40 watts	2200 K
Lampe halogène (500 watts)	3200 K

Les tubes fluorescents ont des températures de couleur très variables

Tube fluorescent " blanc chaud "	2700 à 3000 K
Tube fluorescent " blanc "	4000 K
Tube fluorescent " lumière du jour "	5300 à 6500 K

2. 1.3.2. Les diverses sources lumineuses

Les différentes sources de lumière offrent une répartition très différente de leur rayonnement typique dans les domaines ultraviolet, lumière visible et infrarouge.

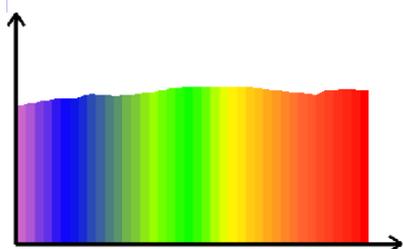
Cette répartition est importante pour la conservation.

Les sources lumineuses sont :

- soit d'origine **naturelle**,
- soit d'origine **artificielle**.

Dans les deux cas, les sources lumineuses peuvent être **chaudes** ou **froides**.

Complément : Les sources chaudes



La lumière produite par les sources chaudes émettant un spectre continu est due à divers mécanismes d'excitation :

- thermique (lampe à incandescence)
- chimique (combustion)
- nucléaire (soleil, étoiles)

La lumière solaire **présente les caractéristiques suivantes** :

- Elle comporte une part à peu près égale de toutes les fréquences situées entre l' UV

et l' IR.

- **La part de rayonnements nocifs est très importante.**
- Les quantités de lumière sont très grandes

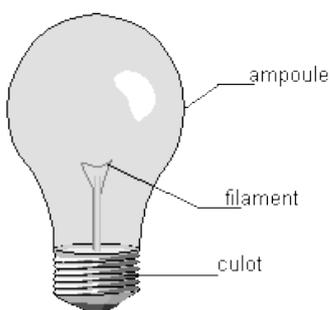
La lumière solaire directe n'est pas la seule lumière naturelle nocive ; celle diffusée par le ciel est aussi très intense, et sa part de rayons UV est même proportionnellement plus importante.

Dans une ampoule électrique, le passage du courant provoque l'échauffement d'un **filament** et le porte à **incandescence**. C'est pourquoi on appelle ce type d'ampoule **lampe à incandescence**.

Le spectre lumineux est continu et comporte toutes les radiations du spectre visible. L'émission de lumière se poursuit aussi dans l'infrarouge.

Les lampes à incandescence sont de deux types :

- **Les lampes au tungstène ordinaires** : elles sont constituées d'une ampoule assez large en verre pleine d'un gaz inerte et d'un filament de tungstène en leur centre.



Porté à une température d'environ 2400-2800° C par le courant électrique, le filament émet un rayonnement lumineux. En s'échauffant, il perd de la matière par sublimation ; le tungstène rendu gazeux se refroidit au contact de l'enveloppe de verre et se dépose sur celle-ci ; le verre s'obscurcit, ce qui diminue le rendement lumineux de la lampe et modifie sa température de couleur (environ 2500 K).

ampoule + filament + culot = LAMPE

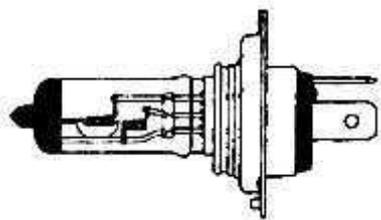
Le spectre lumineux est très pauvre en rayons ultraviolets. Les longueurs d'onde visibles sont réparties de manière inégale, avec une nette prédominance de celles supérieures à 500 nm, et l'émission dans le domaine infrarouge est très importante.

Certaines lampes, dites " à miroir dichroïque " ou " à faisceau froid ", sont pourvues d'un réflecteur spécial qui limite le rayonnement infrarouge.

- **Les lampes halogènes** fonctionnent selon le même principe : l'échauffement par le passage du courant électrique d'un filament de tungstène. Mais le filament supporte une température plus élevée grâce à l'adjonction d'un gaz halogène (brome, iode) au gaz inerte à l'intérieur de l'ampoule.

De plus, celle-ci est de forme plus étroite, ce qui favorise l'échauffement du filament.

Le mélange de gaz se combine au tungstène qui s'évapore par sublimation pour former un sel métallique appelé halogénure. La température de l'ampoule est telle que les halogénures ne se refroidissent pas suffisamment pour se déposer sur ses parois, de sorte qu'ils retournent au filament et le régénèrent. Ainsi le rendement de la lampe n'est pas diminué et la température de couleur reste constante pendant toute sa durée de vie (environ 3200 K).



Les lampes à halogène doivent fonctionner à une température globale de la lampe supérieure à 250°C. Leurs émissions dans le domaine des longueurs d'onde inférieures à 500 nm sont plus élevées que celles des ampoules à incandescence ordinaires. Or, La forte chaleur émise par le filament impose l'utilisation de **verres de quartz**, qui, contrairement au verre ordinaire, ne filtre pas les longueurs d'onde les plus courtes

dans le domaine ultraviolet. Ainsi, **le rayonnement ultraviolet de ces lampes peut atteindre 100 µW/lumen.**

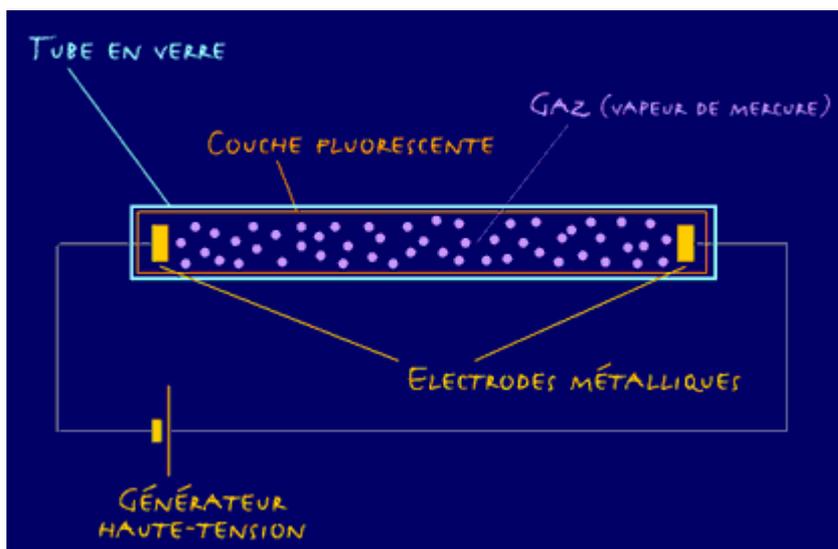
Le rayonnement infrarouge peut varier d'un type de lampe à l'autre, mais il est toujours important.

Complément : Les sources froides

Ce sont les **lampes fluorescentes**.

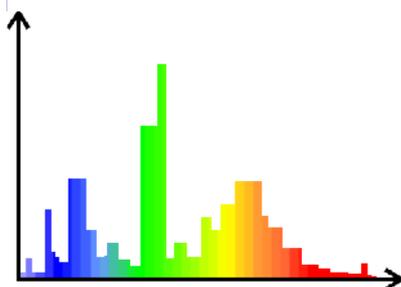


L'émission de la lumière n'y est pas provoquée par l'échauffement d'un corps, mais par **l'excitation d'une poudre fluorescente**. Cette excitation est engendrée par le rayonnement ultraviolet émis par une décharge électrique dans les vapeurs de mercure à basse pression se trouvant dans l'ampoule.



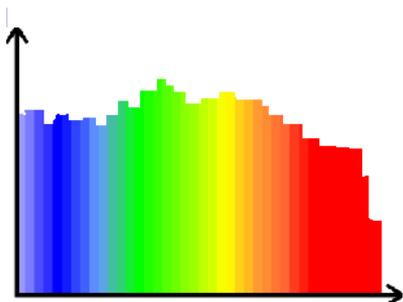
Couche fluorescente

Ce sont des sources à **spectre discontinu** : l'émission spectrale n'est pas régulière, elle se fait par bandes de radiations et elle tend à se concentrer en quelques pics, ce qui donne **une lumière plus ou moins froide**.



Les bandes peuvent être plus ou moins larges, plus ou moins rapprochées.

Les sources fluorescentes n'ont pas de température de couleur propre par manque d'émission sur certaines parties du spectre lumineux visible.



Certaines sources sont assimilées à des sources à spectre continu : bien que discontinu, leur **spectre** est **resserré** et simule un spectre continu. Le **flash électronique** et certains tubes fluorescents dits " **lumière du jour** " sont de ce type.

Certaines lampes fluorescentes ont des émissions importantes dans le domaine ultraviolet, qui peuvent varier de 45 à 270 $\mu\text{W/lumen}$.

En conclusion, parmi les nombreuses sources d'éclairage, c'est **la lumière naturelle** qui est **la plus nocive**. Certaines lumières artificielles peuvent également occasionner des altérations importantes : certains tubes fluorescents qui émettent beaucoup de **rayons ultra-violets** sont plus dangereux que les lampes à filaments de tungstène qui n'en émettent pratiquement pas.

3. 1.3.3. L'influence de la lumière sur la conservation

La lumière peut déclencher ou accélérer les réactions chimiques de dégradation de toutes les matières organiques ; les matières inorganiques, comme le verre ou le métal, sont beaucoup moins sensibles.

Les fréquences les plus courtes sont plus énergétiques et plus pénétrantes.

La nocivité de la lumière visible et des rayonnements ultraviolets et infrarouges est tributaire de la qualité du spectre et de la quantité totale de rayonnement reçue par l'objet.

Une comparaison des différentes sources de lumière nous montre que leur nocivité est très inégale.

Le tableau suivant attribue un facteur de dommage photochimique 100 à la lumière réfléchiée par le ciel au zénith et évalue les autres sources de lumière par comparaison :

Source de lumière	Température couleur	de	Facteur détérioration	de
Ciel zénithal à travers un vitrage	11000 K		100	
Ciel couvert à travers un vitrage	6400 K		60	
Ampoule ordinaire à incandescence	2700 K		10	
Lampe halogène sans vitre de protection	3100 K		25	
Lampe halogène avec vitre de protection	3100 K		15	
Lampe fluorescente (blanc très chaud)	2700 K		1	
Lampe fluorescente (blanc chaud)	3000 K		15	
Lampe fluorescente (blanc)	4000 K		20	
Lampe fluorescente (blanc froid)	5000 K		33	

Ordre de grandeur de l'échauffement relatif produit par différentes sources de lumière pour un même éclairage et un même facteur d'absorption spectrale (d'après Andrea Giovannini).

L'action de la lumière peut s'exercer

- soit directement (**photolyse**)
- soit en combinaison avec d'autres substances comme, par exemple, la **photo-oxidation** avec l'oxygène de l'air.

Il faut tenir compte du fait que l'intensité du rayonnement aussi est déterminante: ainsi, une forte quantité d'un rayonnement peu nuisible (de par sa longueur d'onde) engendre également des dommages.

L'action de la lumière est encore plus nuisible lorsqu'elle s'exerce dans une atmosphère à haute humidité relative, en présence d'impuretés qui catalysent les réactions de dégradation ou de polluants atmosphériques dont l'action se combine avec celle de la lumière.

Il faut également considérer que souvent une quantité excessive de lumière provoque l'échauffement de l'objet, avec une accélération sensible des altérations chimiques: on estime que la vitesse de dégradation double si la température augmente de 8 degrés.

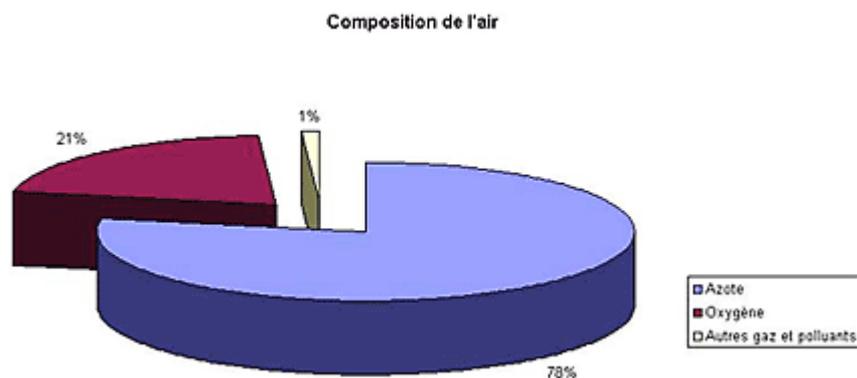
Les différentes sources de lumière ne provoquent pas un échauffement identique dans les mêmes conditions.

D. 1.4. La pollution atmosphérique



L'air que nous respirons est essentiellement composé

- de vapeur d'eau dont la quantité dépend de la température et des apports d'humidité,
- d'air sec qui comporte de manière à peu près constante de l'azote, de l'oxygène et une très petite quantité d'autres gaz (argon, gaz carbonique, hydrogène, néon, hélium, krypton et xénon) selon les proportions indiquées sur le graphique ci-dessous.



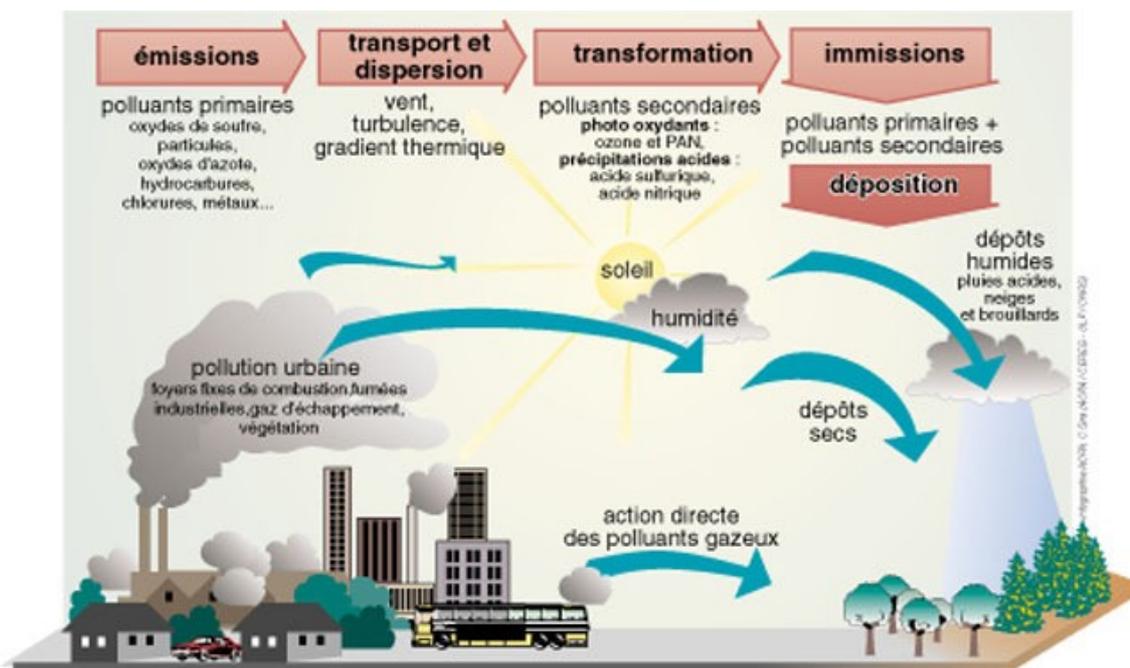
Composition de l'air

Les sources de la pollution de l'air sont multiples : trafic routier, transports aériens ou maritimes, production d'énergie, industries, agriculture, chauffage, volcans, pollens, etc.

La combinaison et l'interaction des cycles naturels et des activités humaines apportent dans l'atmosphère d'autres substances, à savoir :

- des poussières
- des polluants atmosphériques.

Les mécanismes et les interactions photochimiques des polluants atmosphériques sont très complexes. Une partie des réactions se passent en haute altitude où les polluants sont transportés par les vents et où ils sont soumis à un rayonnement ultraviolet très intense; ils retombent ensuite au sol, sous forme de particules ou sous forme de pluies acides.



Le cycle des polluants

Site de l'Association pour la Surveillance et l'étude de la Pollution Atmosphérique en Alsace : <http://www.atmo-alsace.net./site/Accueil-2.html>

1. 1.4.1. Les poussières

La poussière atmosphérique est constituée de **particules solides en suspension**.

La composition de cette poussière est très variable. On peut distinguer

- **des composants inorganiques**, tels que sable, sel, argile, chaux, ciment, métaux, etc.
- **des composants organiques**, tels que fragments végétaux, fibres textiles, pollen, graines, spores, farine, noir de fumée, charbon, cendres, etc.

La taille des particules qui composent la poussière varie entre 0,5 et 1000 μm (micromètres, c'est-à-dire millièmes de millimètre).

Les particules les plus fines, souvent appelées "fumées noires", peuvent être d'origine

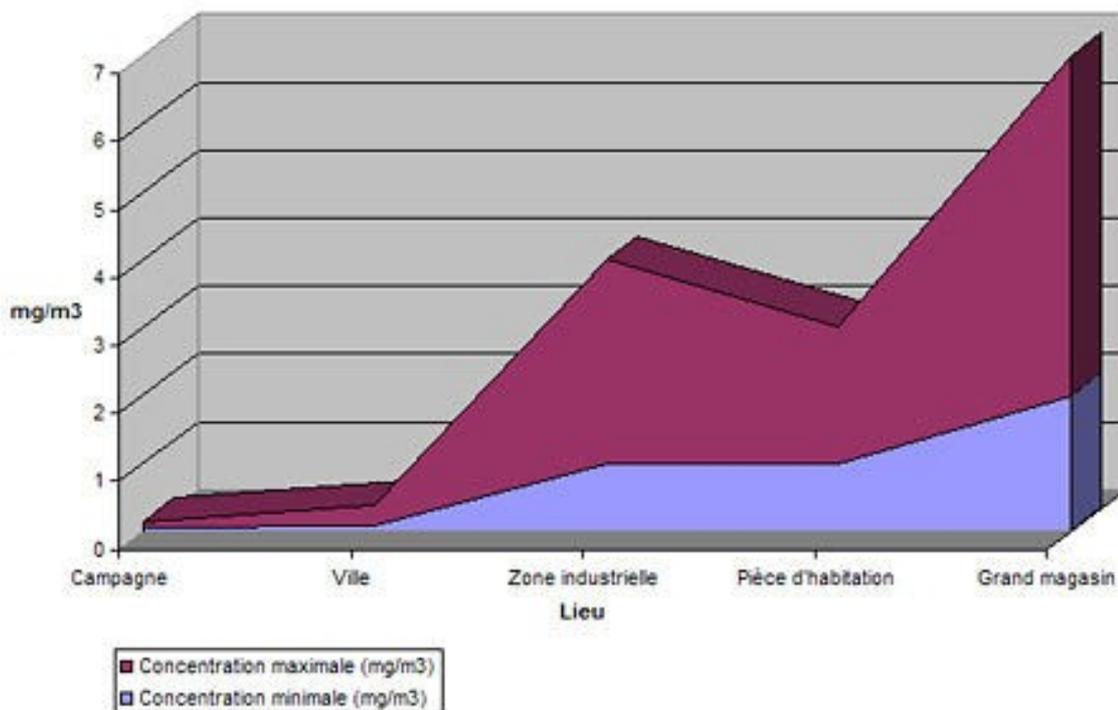
- naturelle (volcan)
- anthropique, c'est à dire générées par les activités humaines (combustion industrielle ou de chauffage, incinération de déchets, véhicules).

A l'œil nu, seules sont visibles les particules de taille supérieure à 20-30 μg : ce sont par exemple les poussières que nous voyons " danser " dans un rayon de soleil. Elles ne représentent cependant qu'un faible pourcentage des poussières qui se trouvent réellement dans l'air.

Un certain nombre de " grosses " particules proviennent aussi d'installations ou de procédés industriels tels que l'extraction de minéraux, les cimenteries, les aciéries, les fonderies, les verreries, les plâtrières, etc.

Ainsi **la concentration des particules de poussière varie fortement selon le lieu et l'environnement** :

Concentration approximative des poussières en fonction du lieu (d'après les données fournies par Andrea Giovannini)



Concentration des poussières

Dans l'air, on trouve également de nombreux **êtres vivants** ou **micro-organismes** d'un poids et d'une densité leur permettant de flotter.

Cette population microscopique de l'air comprend :

- des virus
- des bactéries
- des champignons et moisissures
- des algues
- des fougères
- des mousses
- des protozoaires

Les champignons microscopiques se présentent sous la forme de **spores**. Leur **concentration** varie entre **environ 100 et 5000 par m³ d'air**, avec les plus fortes concentrations dans les villes, particulièrement à l'intérieur des habitations.

Certaines poussières absorbent l'humidité de l'air et peuvent servir de support pour le développement de micro-organismes.

Les poussières peuvent aussi fixer et transporter des polluants atmosphériques.

2. 1.4.2. Les polluants atmosphériques

La combustion d'hydrocarbures et les activités industrielles produisent des substances qui, en un cycle très complexe, peuvent dégrader de nombreux matériaux, notamment ceux que comportent les documents d'archives.

On peut considérer que les polluants les plus dangereux pour les documents d'archives sont:

- **Le dioxyde de soufre** (SO₂)
- **les oxydes d'azote** (NO_x)
- **l'ozone** (O₃)

D'autres polluants interviennent également, de façon directe ou indirecte, notamment :

- **Les composés organiques volatils** (COV)
- **Le peroxy alcyil nitrate** (PAN)

Complément : Polluants primaires et secondaires

Le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote **et les composés organiques volatils** sont des "**polluants primaires**", car leur émission provient directement d'une source (cheminée d'usine ou de centrale thermique, pot d'échappement de véhicule, sols...).

L'ozone est un des principaux "**polluants secondaires**", car ce gaz est issu de la transformation chimique de polluants primaires dans la proche atmosphère.

D'autres gaz, tel le peroxy alcyil nitrate (**PAN**), sont aussi des polluants secondaires.

La mesure des polluants se fait :

- soit en µg/m³
- soit en ppm (parts per million)
- parfois même en ppb (parts per billion), selon l'équivalence 1 ppm = 1000 ppb.

La relation entre ces unités de mesure est la suivante:

- 1 ppm = 40,9 M µg/m³
- 1 ppb = 0,0409 M µg/m³

M étant le poids moléculaire du polluant considéré.

Cette relation varie donc d'un polluant à un autre.

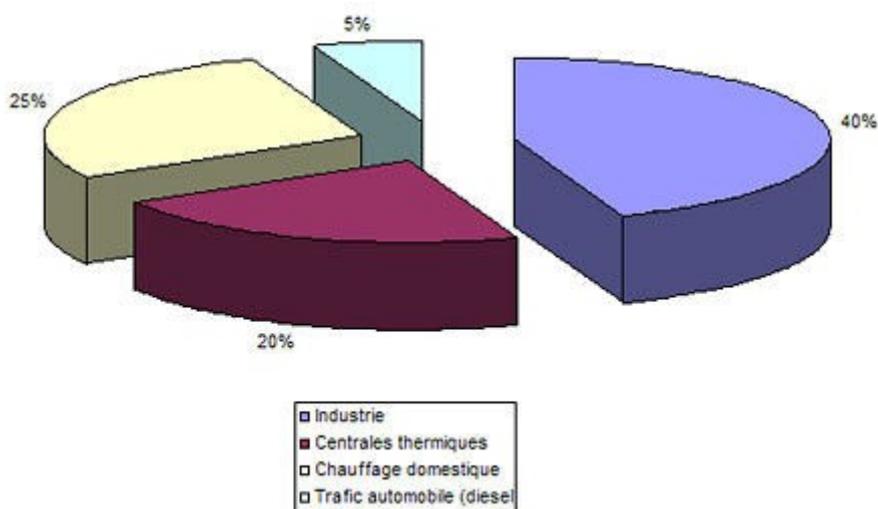
Complément : Le dioxyde de soufre



Le **dioxyde de soufre** (SO₂), aussi appelé "**anhydride sulfureux**" provient essentiellement de la combustion de combustible fossiles contenant du soufre : fuel lourd, fuel domestique, charbon, coke de pétrole, essence, gazole. Quelques procédés industriels émettent également des oxydes de soufre (production de pâte à papier, raffinage du pétrole, etc.). Même la nature émet des produits soufrés (volcans).

Les sources d'émissions sont les systèmes de production de chaleur :

Sources d'émission du dioxyde de soufre



Sources d'émission du dioxyde de soufre

En présence d'humidité et de lumière, il forme de **l'acide sulfurique** qui contribue au phénomène des **pluies acides**.

Le taux de SO₂ naturellement contenu dans l'air est de 1- 5 µg/m³.

Dans les zones polluées, il peut atteindre jusqu'à 500 µg/m³.

Compte tenu de l'évolution des technologies, les concentrations ambiantes tendent à diminuer considérablement depuis une quinzaine d'années dans les pays qui ont résolument adopté une politique anti-pollution.

Complément : Les oxydes d'azote

L'air pollué peut comprendre deux types d'oxydes d'azote (NO₂) :

- Le **monoxyde d'azote** (NO)
- Le **dioxyde** d'azote (NO₂)

Les oxydes d'azotes sont émis essentiellement sous forme de monoxyde.

On distingue

- **les sources naturelles** : Le monoxyde d'azote est émis en grande quantité par de nombreux processus biologiques, particulièrement par l'activité bactérienne dans les sols. Il est également produit par les éclairs, lors des orages, et par les volcans.
- les sources d'origine humaine qui peuvent être
 - **fixes** :
 - **tous les foyers de production thermique**, industriels ou domestiques
 - **certains procédés industriels** (production d'acide nitrique, fabrication d'engrais, traitement de surfaces, etc.)
 - **les feux de biomasse**, notamment dans les pays tropicaux, où ils sont le plus fréquemment d'origine humaine (culture sur brûlis).
 - **Mobiles** :
 - **La circulation automobile** (70%)



La circulation automobile

▫ **La circulation aérienne**

Les teneurs en NO_x sont en augmentation du fait de l'augmentation et du vieillissement du parc automobile, ainsi que de la densification du trafic. Cette augmentation compense les efforts faits pour diminuer les émissions de NO_x (pot catalytique par exemple).

D'autre part, les sources naturelles émettent, sur l'ensemble du globe, l'équivalent de 25% des émissions de NO d'origine industrielle. Cependant, les sources naturelles sont réparties de manière relativement uniforme sur la planète, de sorte que la pollution de fond dont elles sont responsables est bien plus faible que la **pollution due aux activités humaines, concentrées dans des zones urbaines et industrielles**.

Le monoxyde d'azote est formé par l'oxydation à haute température, dans les foyers de combustion, de l'azote (N_2) par l'oxygène (O_2) qui se trouvent tous deux naturellement dans l'air.



Le monoxyde d'azote (NO) se transforme rapidement en dioxyde d'azote (NO_2) au cours d'une nouvelle oxydation, toujours liée à la combustion des hydrocarbures. Cette réaction se poursuit lentement dans l'atmosphère et explique dans le cas des villes à forte circulation la couleur brunâtre des couches d'air pollué situées à quelques centaines de mètres d'altitude (action conjointe des poussières).

Le NO_2 se photolyse rapidement sous l'action du rayonnement solaire, pour redonner du NO. Après un certain nombre de cycles d'interconversion entre NO_2 et NO, au cours desquels l'ozone est produit, le NO_2 passe sous des formes plus stables par diverses voies :

- La plus importante est la formation d'**acide nitrique** (HNO_3). Cet acide très soluble intervient dans la composition des **pluies acides**.
- Une autre voie de disparition non négligeable est le **dépôt sec** sur le sol et la végétation.

Le taux naturel de dioxyde d'azote est de 1-2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

On a mesuré des concentrations allant jusqu'à 1500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Les oxydes d'azote interviennent dans le processus photochimique de formation d'ozone dans la basse atmosphère.

Complément : Les composés organiques volatils

Les **composés organiques volatils (COV)** sont multiples.

Il s'agit :

- * **d'hydrocarbures** émis par évaporation des bacs de stockages pétroliers ou lors du remplissage des réservoirs automobiles,
- * de **composés organiques provenant de procédés industriels** ou de la combustion incomplète des combustibles,
- * de solvants émis lors de l'application des peintures, des encres, le nettoyage des surfaces métalliques et des vêtements,

* de **composés organiques émis par l'agriculture** et par le milieu naturel.
Ils interviennent aussi dans la formation de l'ozone.

Complément : L'ozone



Dans la **stratosphère**, l'ozone est un gaz qui nous protège naturellement des rayons ultraviolets du soleil. C'est pourquoi les altérations (trous) dans cette couche d'ozone, liées à de plusieurs activités humaines, inquiètent les scientifiques.

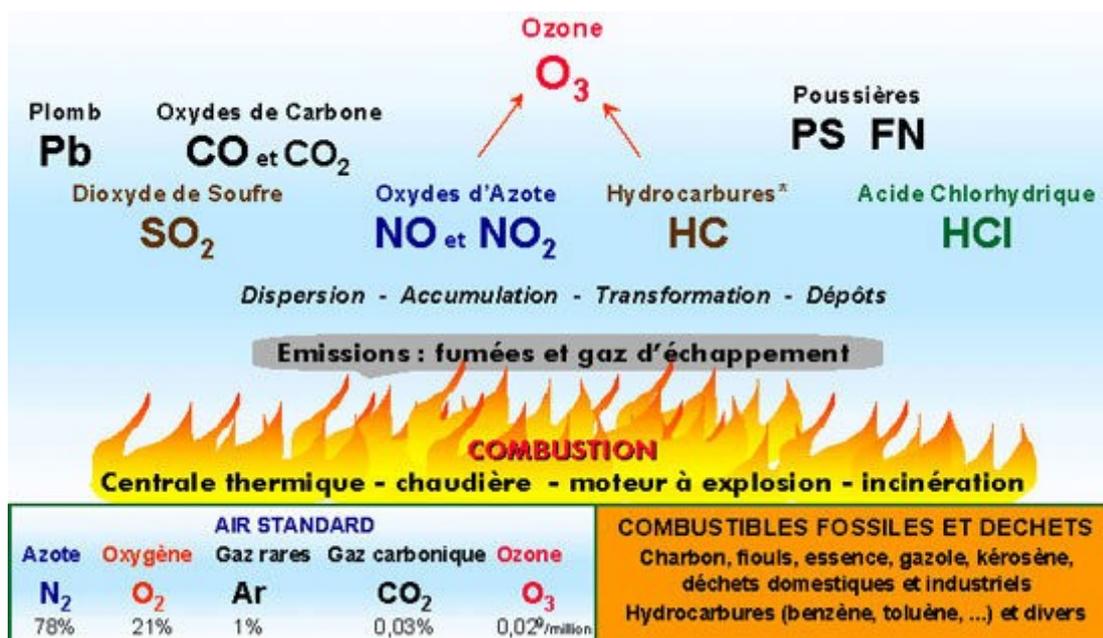
Dans la **troposphère** en revanche, **l'ozone est un polluant très toxique.**

Contrairement aux autres polluants, ce gaz n'est généralement pas émis par une source particulière mais résulte de la transformation photochimique de certains polluants dans l'atmosphère.

La formation de l'ozone troposphérique implique des réactions chimiques mettant en jeu :

- **Des précurseurs**
 - les oxydes d'azote
 - les composés organiques volatils (COV)
 - le monoxyde de carbone (émis essentiellement par le trafic routier et le chauffage domestique urbain).

* **des rayonnements ultraviolets**



Pollution atmosphérique en Alsace

Site de l'Association pour la Surveillance et l'étude de la Pollution Atmosphérique en Alsace : <http://www.atmo-alsace.net./site/Accueil-2.html>¹

C'est un problème complexe, car la réduction des oxydes d'azote peut favoriser l'augmentation des concentrations d'ozone.

Il peut aussi être dégagé par des appareils qui produisent de fortes charges électrostatiques, tels que certains **photocopieurs** certains **filtres électrostatiques** pour la poussière, ainsi que les **lignes à haute tension**.

Les concentrations d'ozone dans l'air ont augmenté depuis plusieurs années en zone urbaine et péri-urbaine, notamment lorsque les conditions climatiques sont propices : fort ensoleillement, stagnation de l'air (vent faible). Pendant les périodes de canicule, les alertes

aux " pics d'ozone " dans les villes font désormais partie de notre quotidien.

Le taux naturel d'ozone est de 20-60 µg/m³.

Dans les zones polluées on mesure jusqu'à 500 µg/m³.

Complément : Autres polluants dérivés

En présence de **restes d'hydrocarbures non brûlés**, l'ozone par une succession de réactions chimiques très complexes génère d'autres composés oxydants (peroxyde d'hydrogène, aldéhydes, peroxy acétyl nitrate ou **PAN**).

3. 1.4.3. L'influence de l'air pollué sur la conservation

Tous les polluants cités sont des **réactifs chimiques très puissants** qui peuvent provoquer des réactions d'altération ou intervenir, en les accélérant, dans des réactions déjà en cours.

Une température élevée, une forte humidité de l'air et une grande quantité de lumière favorisent fortement l'action destructive des polluants de l'air.

Les acides qui se forment sont très dangereux pour la stabilité chimique des matériaux, notamment du papier.

Le **dioxyde de soufre** ou anhydride sulfureux (SO₂) se transforme à la surface des matières en **acide sulfurique**. Cette réaction est facilitée par la présence de particules de fer ou de cuivre, par une forte humidité (HR > 70%) et par la lumière.

La combinaison de ces facteurs rend l'altération sensiblement plus rapide.

L'action des **oxydes d'azote** et de l'**acide nitrique** est similaire à celle des composés de soufre, mais le caractère volatil de l'acide nitrique rend son action plus superficielle.

L'**ozone** et le **PAN** ont une **action oxydante** très dangereuse pour tous les matériaux organiques, action qui aboutit à l'**hydrolyse**.

Des concentrations élevées de polluants atmosphériques entraînent des dommages perceptibles sur les objets en moins de dix ans.

En raison de la **dispersion des polluants**, La présence de polluants atmosphériques est à redouter également **à grande distance de leur lieu d'origine**.

E. 1.5. Les facteurs biologiques



Parmi les facteurs susceptibles d'intervenir dans la dégradation des documents, **les facteurs biologiques tiennent une place importante.**

Sous ce titre se trouvent regroupés :

- les **micro-organismes**,
- les **animaux** : **insectes** et **rongeurs** essentiellement.

1. 1.5.1. Les micro-organismes

Dans l'air que nous respirons se trouve une microfaune invisible.

Par exemple, lors de chaque inspiration, nous aspirons une demi-douzaine de bactéries, quelques dizaines de champignons microscopiques, quelques spores, quelques protozoaires et, selon la saison, des graines de pollen.

La fonction naturelle des micro-organismes est la retransformation des substances complexes en substances élémentaires pour perpétuer le cycle naturel. La décomposition de la matière organique morte (cadavres, débris animaux et végétaux) relève de ce processus. Cette fonction est essentielle pour l'équilibre de la nature : dans les forêts, par exemple, les débris végétaux et animaux se décomposent pour se transformer en un humus fertile qui nourrit les plantes et les arbres.

Les documents sont aussi visés par ce processus : **tout comme le vieillissement, la décomposition, provoquée par les micro-organismes est un phénomène naturel.**

Toutefois, contrairement au vieillissement, il n'est pas inexorable. En effet, les micro-organismes en suspension dans l'air ne sont nocifs pour les documents que si des conditions climatiques favorables permettent leur prolifération. Si c'est le cas, de nombreuses espèces de micro-organismes peuvent utiliser les matériaux organiques des documents comme substrat de croissance, causant ainsi des dommages très importants et souvent irréparables.

L'une des missions de l'archiviste est précisément de protéger les documents contre ce processus naturel en s'efforçant de maintenir des conditions climatiques défavorables à la prolifération des micro-organismes.

Parmi les micro-organismes nuisibles, on distingue :

- **des champignons microscopiques**, essentiellement des moisissures, mais aussi quelques levures
- **des bactéries**

1.5.1.1. Les champignons microscopiques

Parmi les micro-organismes, les champignons, et plus particulièrement les **moisissures**, sont ceux que l'on rencontre le plus fréquemment sur les documents. **Ils sont aussi les plus difficiles à détruire.**

La détérioration par les moisissures revêt des proportions extrêmes dans les climats tropicaux humides et équatoriaux et nettement plus modérées dans des climats tempérés ; mais toute la différence tient à l'envergure du phénomène et non à sa nature. En effet, il n'existe pas de souches exceptionnelles, spécifiques ou particulièrement virulentes dans les pays tropicaux. Ce sont les conditions climatiques, en l'occurrence idéales, qui sont en cause.

Il n'est pas nécessaire d'identifier une moisissure avec précision pour la traiter, car les traitements ne sont pas spécifiques à telle ou telle espèce. **L'identification des espèces contaminantes peut néanmoins être utile, car elle peut donner des indices sur les sources de contamination et aider à analyser les problèmes afin d'adopter des solutions appropriées et durables.** Cette identification, impossible à l'œil nu, ne peut se faire qu'en prélevant des spores qui sont mis en culture en laboratoire.

De même il est utile d'avoir une certaine connaissance des moisissures et de leur mode de développement.

La plupart des moisissures comportent deux structures différentes

- **L'appareil végétatif** constitué du **mycélium**
- **L'appareil reproducteur** qui produit des **spores**

Complément : Constitution des moisissures

- **L'appareil végétatif** : il se caractérise par une ramification de filaments incolores appelés **hyphes**. Ces hyphes, dont l'ensemble constitue le **mycélium**, poussent leurs ramifications à travers un substrat — papier ou autre — en absorbant certains de ses éléments pour se nourrir, par exemple la cellulose.

Mycelium. Cliché A. Giovannini.



- Leur présence précède le développement visible de la moisissure. **Le mycélium est en effet la plupart du temps totalement invisible à l'œil nu sur le papier.** Chez certaines espèces, il peut néanmoins prendre la forme d'une substance duveteuse blanchâtre ou grise, visible à l'œil nu.
- **L'appareil reproducteur** : une fois le mycélium étalé et si les conditions favorables perdurent, la moisissure développe une partie aérienne constituée de conidiophores qui produisent des **spores** ou conidies, selon un mode de reproduction qui est sexué ou non selon les espèces. **Ce sont les spores qui permettent l'identification de l'espèce.**

Les spores ont des formes variables et ne mesurent que quelques microns. Très légères, elles se déplacent facilement grâce aux courants d'air et se trouvent partout. Elles se déposent sur les matériaux où elles germent en produisant un tube germinatif qui va pénétrer dans le substrat et se développer en formant un nouveau mycélium.

Complément : Les spores

Les spores produites se classent en **deux grandes catégories** :

- **Les spores qui se produisent vite et en grandes quantités, mais qui résistent très mal** au dessèchement, à la lumière du soleil et autres facteurs climatiques défavorables. Elles permettent le développement rapide des colonies lorsque les conditions sont favorables.
- **des spores qui résistent beaucoup mieux aux conditions défavorables.** Elles sont capables de demeurer dormantes et de garder leur capacité de germination pendant plusieurs années, voire plusieurs siècles. Il suffit que les conditions climatiques redeviennent favorables pour que le champignon se développe là où des spores se sont un jour déposées.

Ainsi, il est très difficile de se débarrasser des spores ou de les rendre inactives. Nous ne pouvons qu'empêcher leur développement.

Complément : Quelques espèces de champignons microscopiques

Plus de 60 espèces susceptibles de coloniser les documents ont été recensées. Parmi elles, on signalera particulièrement :

- *Gyrophana lacrymans* Wulfen, communément appelée mэрule pleureuse, champignon résistant, très nuisible, spécifique du bois, mais qui peut aussi s'attaquer au papier et au cuir.
- *Chaetomium globosum* Kunze
- Plusieurs espèces d'*aspergillus* et de *penicillium*, qui prolifèrent plus volontiers à l'intérieur des locaux qu'à l'extérieur ; notons que certains aspergillus peuvent être responsables chez l'homme d'affections appelées aspergilloses qui peuvent aller d'une simple allergie bénigne, asthme, mycose, à l'infection généralisée grave.
- *Fusarium graminearum* Schwabe : capable de coloniser tous les supports organiques

- *Alternaria alternata* (Fr.) Keissler
- *Cladosporium cladosporioides* (Fres.) de Vries
- **Stachybotrys atra** Corda : d'aspect poudreux, d'abord blanche, devenant progressivement noire à la sporulation. Certaines souches élaborent une toxine qui peut provoquer des intoxications mortelles pour l'homme et les animaux.

Mais on cite aussi beaucoup d'autres espèces nuisibles (*mucor*, *rhyzopus*, *stemphilium*, *alternaria*, *trichoderm*, *trichotecium*).

1.5.1.2. Les conditions favorables

Les **conditions favorables au développement des moisissures** sont les suivantes :

- **la présence d'un support de croissance** : la plupart des matériaux entrant dans la composition des documents d'archives peuvent convenir
- **un taux d'humidité suffisant dans le support de croissance** : la plupart de ces matériaux absorbent et retiennent en eux l'humidité
- **des conditions climatiques favorables** : **l'humidité et la chaleur** sont les facteurs essentiels à la germination des spores. Une humidité relative supérieure à 70% constitue l'une des conditions idéales, mais avec l'augmentation de la température, les moisissures peuvent se développer à une humidité relative beaucoup plus réduite. Les températures peuvent s'échelonner de 15 à 35°C, l'idéal étant 30°C. Ces facteurs interviennent aussi dans la vitesse de croissance des champignons microscopiques.

A noter enfin que la lumière n'est pas nécessaire au développement des moisissures qui prospèrent très bien dans l'obscurité. Certaines espèces craignent même une exposition aux ultra-violets.

1.5.1.3. Les matériaux attaqués

Les moisissures sont saprophytes, c'est-à-dire qu'elles se développent au dépend de matériaux inertes variés, bois, papier, aliments. **Les éléments nutritifs les plus importants sont le carbone et l'azote.** Incapables, contrairement aux plantes vertes, d'assimiler le gaz carbonique atmosphérique, elles le puisent dans des matières organiques. Elles ont aussi besoin d'hydrogène, d'oxygène très peu, de sorte qu'elles peuvent se développer en atmosphère confinée, de soufre, de potassium et de magnésium. La plupart des composés naturels peuvent être utilisés par les champignons comme sources de carbone et d'énergie. **Presque tous les matériaux d'origine organique sont susceptibles d'être attaqués par une espèce de moisissure ou une autre et donc de servir de substrat à leur développement.**

Toutefois, certains produits, comme la cellulose, l'amidon, les protéines, doivent être transformés au préalable par la moisissure avant d'être absorbés. Celle-ci doit disposer d'enzymes adaptés pour cette transformation, d'où une certaine spécialisation des champignons qui ne s'attaquent pas tous aux mêmes matériaux.

Les matériaux d'origine organique entrant dans la composition des documents sont principalement

- les fibres cellulosiques
- les encollages, charges et apprêts à base d'amidon, de caséine et de gélatine
- les colles naturelles d'origine végétale ou d'origine animale
- le cuir et le parchemin
- la gélatine des négatifs et des épreuves photographiques.

1.5.1.4. Les bactéries

Les bactéries sont aussi organismes microscopiques susceptibles de détériorer les documents.

Contrairement aux champignons, **elles sont unicellulaires**. L'unique cellule comprend un cytoplasme, une membrane cytoplasmique, un noyau à un seul chromosome, des cils, une capsule, une paroi et éventuellement une spore thermorésistante.

Lorsqu'elles produisent des spores, celles-ci sont inférieures à un demi-micron.

Très diversifiées selon les espèces, elles peuvent être sphériques ou cylindrées, en spirale ou filamenteuses.

Les bactéries qui s'attaquent à la cellulose des documents sont des bactéries cellulolytiques aérobies, c'est-à-dire qu'elles ont besoin d'oxygènes, en opposition aux bactéries cellulolytiques anaérobies qui jouent un rôle essentiel dans la digestion des ruminants par exemple.

Les bactéries les plus connues se nomment cytophaga, sporocytophaga, cellfalcicula, cellvibrio, serratia, nocardia, streptomyces.

1.5.1.5. Les dégâts dus aux micro-organismes

Les micro-organismes sont extrêmement dangereux à cause de leur diffusion universelle et leur capacité à "digérer" le papier, le cuir et le parchemin.

Les principaux dégâts se traduisent par :

- **une fragilisation extrême pouvant aller jusqu'à la disparition totale du substrat atteint**

Certains champignons peuvent dégrader la cellulose du papier en glucose : ce type de dégradation peut aboutir à la destruction totale du document.

Document en partie détruit par des micro-organismes. Cliché A. Giovannini.



Si le développement des colonies est moins intense, le matériel attaqué devient d'abord plus fragile : il devient par exemple impossible de tourner les pages d'un document attaqué, le papier, devenu mou, se disloquant littéralement sous les doigts.

- **l'apparition de taches colorées**

Certaines colonies de micro-organismes colorent le terrain sur lequel elles se développent de **teintes très diverses**: blanc, gris, jaune, rouge, violet, rose, vert, bleu, brun et noir. Les avis sont partagés sur l'origine de ces colorants : certains les attribuent à la partie reproductrice, d'autres pensent que ce sont les produits finaux du métabolisme des micro-organismes. Ce qui est certain, c'est que les taches ainsi produites sont le plus souvent **indélébiles**.

Estampe marquée par des tâches de moisissures. Cliché A. Giovannini.



D'autre part, **la couleur des taches ne permet pas l'identification de l'espèce contaminante**, car elle peut varier aussi en fonction du pH du support et des substances contenues dans le matériau attaqué.

On pense aujourd'hui que l'altération des papiers des XVIII^e et XIX^e siècles que l'on appelle "foxing" — papier piqué, parsemé de petites taches rousses — serait essentiellement due aux micro-organismes.

En réalité, **l'attaque des micro-organismes peut se développer en plusieurs vagues**. Par exemple, les substances complémentaires contenues dans le papier (colles dans les papiers anciens, par exemple) peuvent être d'abord attaquées par des bactéries banales, qui seront suivies par des micro-organismes plus spécifiques, suivis à leur tour par des micro-organismes très spécialisés qui n'attaquent qu'une seule matière



Développement de moisissures sur un registre devenu un bloc soudé par les micro-organismes. Cliché A. Giovannini.

Infection généralisée. Cliché A. Giovannini.



Dans tous les cas, la perspicacité du **diagnostic** est essentielle pour déterminer quelles sont les mesures à prendre.

2. 1.5.2. Les insectes

Les insectes constituent une menace très importante pour les services d'archives. Papier, cuir, parchemin, bois et colles d'origine animale ou végétale sont autant d'aliments pour au moins soixante-dix espèces d'insectes appartenant à plusieurs ordres et familles.

Les insectes peuvent pénétrer dans les magasins d'archives par différentes voies :

- voies d'accès physiques : fenêtres, portes, fissures, canalisations ou conduits d'aération
- introduction dans les dépôts de fonds déjà infestés ou d'autres éléments (cartons d'emballage arrivant avec des livraisons de livres ou de machines)

Tous les insectes se multiplient en déposant des œufs en nombre variable selon les espèces. Si les conditions sont favorables, leur développement peut être très rapide et les dommages qu'ils causent peuvent devenir très graves.

De fait, **plusieurs facteurs ont une influence déterminante sur la vitesse de développement des insectes** :

- La température : toutes les fonctions vitales sont accélérées par la chaleur et ralenties par le froid, c'est pourquoi les insectes prolifèrent en permanence dans les zones tropicales et équatoriales et davantage en été dans les zones tempérées. D'une manière générale, la température la plus favorable dans la plupart des cas se situe entre 25 et 35°C.
- L'humidité : les insectes ne boivent pas, mais on a besoin d'eau comme tout être vivant. L'hydratation de leur corps dépend de l'humidité ambiante. Les conditions idéales de développement se situent pour la plupart des insectes entre 70 et 100% d'humidité relative.
- L'obscurité : très généralement, la lumière gêne le développement des insectes. Du reste, beaucoup ont des mœurs plutôt nocturnes.
- La tranquillité : l'absence de circulation d'air, de bruits et de vibrations constituent des conditions favorables. La présence de niches petites cavités, fissures, anfractuosités, recoins obscurs aide à l'installation et au développement des insectes.
- La présence d'éléments nourriciers : de ce point de vue, les archives constituent pour certains insectes une véritable manne. Mais ce n'est pas la seule nourriture qui peut les attirer : l'accumulation de poussières, de saletés, la présence d'aliments à proximité ou dans les magasins, même sous forme de miettes minuscules, de cadavres d'autres insectes ou animaux sont autant de facteurs favorables.

Tous les insectes se reproduisent en pondant des œufs. Ceux-ci représentent le stade de développement le plus résistant et aussi le plus difficile à déceler.

Des œufs naissent les larves. Selon la forme de la larve par rapport à celle de l'insecte adulte, on peut classer les insectes en deux groupes :

- **Premier groupe : les larves ont presque le même aspect que les adultes, avec des dimensions plus réduites et quelques caractères différents.** Dans ce groupe, les espèces parmi les plus répandues se trouvent dans les familles suivantes : les blattidés, les liposcélidés, les lépismatidés.
- **Deuxième groupe : la larve a un aspect complètement différent de celui de l'adulte,** elle prend souvent la forme d'un ver ou d'une chenille. Quand la larve a atteint un développement suffisant, elle se transforme en nymphe ou pupe, stade intermédiaire apparemment inactif à partir duquel se développe, au cours d'une dernière transformation, l'insecte adulte qui se reproduit et recommence ainsi le cycle vital. Ce deuxième groupe est majoritaire dans les bibliothèques et les archives. Les deux principales familles à signaler sont de l'ordre des coléoptères : les **anobiidés** (plus connus des archivistes sous le nom de **vrillettes**), les **dermestidés**. Bien que la larve ne soit pas vermiforme, nous rattacherons à ce groupe une famille très importante et redoutable pour les archives de l'ordre des isoptères : **les termites**.

1.5.2.1. Les blattidés

Les **blattes** comprennent de nombreuses espèces, mais ont un certain nombre de points

communs :

- **elles aiment toutes l'humidité, les lieux sombres et la tranquillité**
- elles ne sont pas des insectes sociaux avec une organisation structurée, mais elles sont grégaires : elles sécrètent une phéromone d'agrégation, substance odorante qui incite les individus d'une même espèce à se regrouper. Elles créent ainsi dans les abris où leurs excréments sont abondants des lieux où elles se sentent en sécurité. **Lorsque l'on surprend une blatte dans un bâtiment, on peut donc supposer valablement qu'il y en a beaucoup d'autres. Il est important de repérer leurs niches pour organiser la lutte.**
- elles sortent et vaquent à leurs occupations de préférence la nuit ; lorsqu'on les voit circuler de jour, c'est qu'elles ont été dérangées dans leur niche habituelle. Cela peut aussi être le signe d'une population très élevée.
- Elles sont très craintives et réagissent vivement à toute vibration du sol et à tout mouvement de l'air, sentant venir de loin l'ennemi avant même de le voir.
- **omnivores, elles se nourrissent toutes des matières organiques contenues dans les documents et les livres** (cellulose du papier, cuir, parchemin, colles d'origine végétale et animale), mais aussi de produits alimentaires, d'excréments et de cadavres. C'est pourquoi elles infestent volontiers bibliothèques, services d'archives, dépôts d'ordures, égouts et cuisines.
- les femelles adultes déposent périodiquement des oothèques, sorte de petits sacs contenant entre 16 et 48 embryons selon les espèces. Arrivés à maturité, les embryons devenus larves sortent des oothèques et commencent à se nourrir. Leur croissance s'accompagne de plusieurs mues successives.
- **les conditions idéales de leur développement sont une température de 25 à 30°C et une humidité relative de 70%**, mais toutes les blattes, même celles qui vivent dans les pays chauds, supportent des températures très basses, celle d'un réfrigérateur par exemple. Ce n'est qu'en dessous de - 5°C qu'elles commencent à se dégrader et meurent. En conséquence, la climatisation ne les décourage pas.
- elles peuvent toutes grimper sur une surface verticale irrégulière, grâce aux griffes qu'elles ont au bout des pattes (on les sent très bien lorsqu'elles courent sur la peau).
- la plupart d'entre elles émettent une odeur nauséabonde.
- **elles sont nuisibles à tous les stades de leur développement**, non seulement pour les documents, mais aussi pour les êtres humains, chez qui elles peuvent provoquer phobies, maladies et allergies.

Une autre espèce très commune en Amérique du Nord, la blatte des meubles (blatte à bandes brunes, *supella longipalpa* Fabr.) est une petite blatte d'à peu près la même taille que la blatte germanique, de la famille des blatellidés. Elle infeste surtout les habitations chauffées. Bien qu'apparaissant dans notre galerie de photographies, nous n'avons pas présenté de fiche en raison de son peu d'intérêt pour les archivistes.

Parmi les nombreuses espèces existantes, les plus fréquentes dans les archives sont :

- La blatte germanique
- La blatte américaine
- La blatte orientale
- La blatte australienne

La blatte germanique

La blatte américaine

La blatte orientale

La blatte australienne

1.5.2.2. Les liposcélidés

Parmi les liposcélidés, l'espèce la plus rencontrée par les archivistes et bibliothécaires est

- le pou des livres (poux des livres ou psocids). Cliché Urban Pest Control Research Center. A noter que cette dénomination est sans fondement scientifique, car il ne s'agit nullement d'un pou.

Le pou des livres

1.5.2.3. Les lépismatidés

Les lépismatidés sont des insectes très primitifs, considérés comme des fossiles vivants.

Les deux principaux représentants de cette famille sont :

- Le poisson d'argent
- La thermobie

Le poisson d'argent

1.5.2.4. Les anobiidés

Les espèces les plus communes causant des dégâts dans les archives sont :

- la vrillette du pain (lien vers fiche)
- la vrillette domestique (lien vers fiche)

La vrillette du pain

La vrillette domestique

Les anobiidés ont les caractéristiques suivantes :

- Au stade adulte, elles sont pourvues d'une paire d'élytres et d'une paire d'ailes fonctionnelles qui leur permet de voler.
- Leur cycle de vie comprend trois états successifs : la larve, la nymphe, l'adulte.
- La larve creuse des galeries dans les matériaux dont elle se nourrit. Le diamètre des galeries augmente avec la croissance des larves.
- L'adulte sort du matériau dont s'est nourrie la larve par des trous d'émergence. Dans les galeries et près des trous, on trouve une poudre faite de restes alimentaires et d'excréments.



Les petits tas de poudre sur les rayonnages et les volumes est symptomatique de la présence de vrillettes. Cliché A. Giovannini.

1.5.2.5. Les dermestidés

Les espèces les plus communes causant des dégâts dans les archives sont :

- Le dermeste du lard
- Les attagènes, principalement le charançon des tapis et le charançon des fourrures
- Les anthrènes, principalement le charançon des vêtements et l'anhrène des musées.

Le dermeste du lard

Les attagènes

Les anthrènes

Complément

Les dermestidés ont en commun les caractéristiques suivantes :

- Au stade adulte, ils sont pourvus d'une paire d'élytres et d'une paire d'ailes fonctionnelles qui leur permet de voler.
- Bien qu'aimant l'humidité, ils résistent mieux que d'autres d'insectes à un taux d'humidité réduit.
- Leur cycle de vie comprend trois états successifs : la larve, la nymphe, l'adulte.
- Leurs larves se nourrissent de préférence de produits riches en protéines animales : le nom "dermeste" a pour racine "derme".
- Pour se protéger au moment où elles vont devenir nymphes peuvent quitter le matériau dont elles se sont nourries pour s'enfoncer dans un autre matériau compact non nourrissant. L'adulte sort de ce matériau par des trous d'émergence.
- Les adultes ont plutôt un régime végétarien et ne sont donc pas directement nuisibles aux documents.

Les espèces les plus communes causant des dégâts dans les archives sont :

- Le dermeste du lard
- Les attagènes, principalement le charançon des tapis et le charançon des fourrures
- Les anthrènes, principalement le charançon des vêtements et l'anhrène des musées.



Larve d'anhrène des musées. Cliché A. Giovannini.

1.5.2.6. Les termites

Les termites sont répandus dans le monde entier : ils prolifèrent particulièrement dans les zones tropicales humides et équatoriales, mais on en trouve aussi quelques espèces dans les zones tempérées.

On dénombre de par le monde plus de 2000 espèces de termites différentes, qui se répartissent essentiellement en deux grands groupes :

- Les termites souterrains
- Les termites de bois sec

Les termites souterrains construisent leur nid (termitière) dans le sol ou dans du bois en contact avec le sol. Ils se déplacent à l'intérieur de galeries tunnels (**cordonnets**) qu'ils construisent eux-mêmes et qui les protègent de la lumière et d'un dessèchement excessif. Les conditions favorables de leur développement sont :

- L'obscurité
- L'humidité : la présence d'eau à proximité leur est indispensable
- Une température élevée naturelle (climat, saison) ou artificielle (chauffage).

Toutes sortes d'espèces appartiennent à ce groupe dans le monde entier, y compris dans des pays tempérés.

Exemple : En France, ...

...plusieurs espèces de termites souterrains existent et sont en pleine extension. L'espèce la plus répandue et la plus redoutable pour l'habitat humain est le termite de Saintonge (*Reticulitermes santonensis*) que l'on trouve maintenant dans tout l'ouest depuis la Gironde jusqu'en région parisienne. Dans les régions tropicales françaises, on peut citer l'hétérotermes dans la Caraïbe et en Guyane, très proche du *reticulitermes*, le *coptotermes* à la Réunion et en Guyane, les *nasutitermes* en Martinique, en Guadeloupe et en Guyane.

Les termites de bois sec nichent directement dans le bois dont ils se nourrissent. Ces espèces se rencontrent davantage dans les pays chauds, tropicaux et équatoriaux, mais aussi dans les régions les plus chaudes des pays tempérés.

Complément : En Espagne

Par exemple :

Le termite au cou jaune (*kalotermes flavicolis*), abondant en Espagne, peut à présent se trouver dans les départements méditerranéens de France, où toutefois sa présence est beaucoup plus fréquente en milieu naturel que dans les habitations.

Les termites sont des insectes de couleur blanchâtre, mesurant entre 5 et 8 mm et ressemblant à première vue aux fourmis, d'où leur surnom de "fourmis blanches". Leur forme est diversifiée selon leurs fonctions.

En effet, ce sont des insectes dits "sociaux" qui vivent en **colonies** dont l'organisation est complexe. Chaque individu fait partie d'une "caste" chargée d'une fonction précise à laquelle sa morphologie le destine.

- **Le couple royal** a pour unique mission la reproduction : la reine pond des milliers d'œufs minuscules d'où sortent des larves blanches, au début indifférenciées, appelées à se diversifier en trois castes :
- **Les ouvriers** : très majoritaires, ils sont dépourvus d'ailes, aveugles et stériles ; ils ont pour missions de
 - construire les cordonnets maçonnés avec des granules de terre (termites souterrains)
 - creuser les galeries dans le matériau nourricier, digérer la cellulose et la régurgiter pour nourrir les autres castes
 - nettoyer l'ensemble de la termitière

Pour ce faire, ils sont pourvus de redoutables mandibules d'une force insoupçonnable chez des être si petits et d'apparence si fragile.

- **Les nymphes** : ce sont les larves qui sont appelées à devenir
 - Soit des adultes ailés, propres à essaimer
 - Soit des individus "néoténiques", qui, bien que conservant la morphologie d'une larve, acquièrent la faculté de se reproduire.
- **Les soldats** ont pour mission de défendre la colonie contre les prédateurs, plus particulièrement contre leur principal ennemi : les fourmis. Ils sont blanchâtres, dépourvus d'ailes et stériles. Ils ont une grosse tête d'un roux brunâtre armée de fortes mandibules. Ils sont plus grands que les autres individus (8mm).

Les adultes ailés sont sexués ; ils ont le corps noir ou marron selon l'espèce et sont pourvus de deux paires d'ailes identiques et dépassant la longueur du corps : ils ressemblent beaucoup à des fourmis ailées. Il est capital d'apprendre à les distinguer pour pouvoir engager correctement et rapidement les moyens de lutte. Trois signes distinctifs ont été relevés par les entomologistes :

Signe	Fourmis	Termites
Forme du corps	Corps marqué d'une taille	pas de taille marquée
Longueur des ailes	Ailes supérieures plus longues que les ailes inférieures	Les deux paires d'ailes sont de la même longueur
Forme des antennes	Antennes coudées	Antennes droites

La forme des antennes est l'élément le plus sûr et le plus facile à distinguer.

Les termites se nourrissent uniquement de matériaux cellulosiques. Bien que préférant le bois non vivant légèrement humide, ils peuvent aussi se nourrir de papiers, de cartons, de tissus d'origine végétale. Les termites venant du sol pénètrent en général dans les habitations pour trouver leur nourriture : ils s'attaquent d'abord aux éléments en bois de la construction charpentes, escaliers, colombages, notamment dans les bâtiments anciens, de façon extrêmement insidieuse, car le bois est entièrement rongé de l'intérieur et sa surface, souvent réduite à une mince pellicule, reste en apparence intacte. Il peuvent ensuite passer aux meubles, aux livres et aux archives. **Ils récupèrent le matériau nourricier en y creusant des galeries.** Les reproducteurs s'y installent, ainsi que leur couvain. Plusieurs sites de nourrissage reliés entre eux par un réseau de galeries peuvent ainsi être exploités.

La dissémination des termites peut se faire de deux façons :

- **Par essaimage** : à certains moments de l'année (à la fin de l'hiver ou au printemps en zone tempérée), les adultes ailés s'envolent, se dispersent non loin de la colonie-mère et forment des couples. Ils perdent leurs ailes au cours de cette parade nuptiale en retombant sur le sol et chacun des couples peut fonder une nouvelle colonie.
- **Par bouturage** : une partie de la colonie se déplace, au sein de laquelle apparaissent en assez grand nombre des individus "néoténiques". La colonie-mère peut ainsi, de façon particulièrement insidieuse, donner naissance à tout un réseau de nouvelles colonies reliées entre elles par des tunnels. C'est ainsi que certains quartiers urbains se trouvent complètement envahis.

Les dégâts causés peuvent être énormes, si l'infestation n'a pas été décelée.

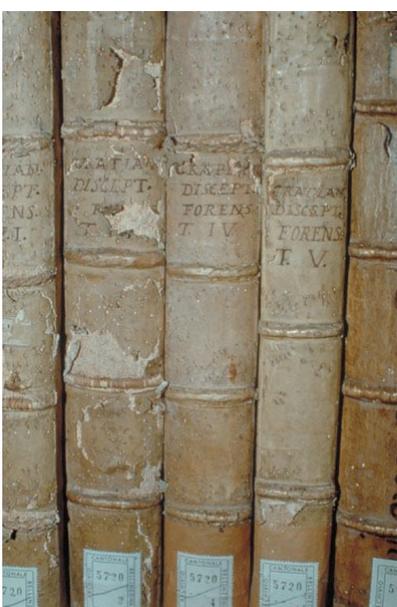
L'invasion d'un bâtiment par les termites pouvant être particulièrement insidieuse, il est indispensable, si l'on est dans une zone infestée, d'exercer une surveillance constante et de connaître les signes d'alerte :

- **La présence de tas de boue et de cordonnets** à la surface des murs, du bois, des sols indique une infestation par des termites souterrains. Il suffit de suivre les cordonnets pour atteindre les documents infestés. Une fois rompu le cordonnet, les termites qui se trouvent dans les documents meurent et ils n'est pas nécessaire d'appliquer un autre traitement. En revanche, il est indispensable de traiter le bâtiment.
- **La présence de tas de poudre coniques** révèlent l'infestation par les termites de bois sec : ces tas sont formés de déjections granuleuses. N'ayant pas besoin d'être reliés à une termitière enfouie dans le sol, ils peuvent infester des rayonnages en bois et des documents en y formant une nouvelle colonie et en les vidant intégralement de leur substance. Il n'y a donc ni tunnels apparents, ni tas de boue.



Domages causés par les poissons d'argent et les blattes sur un document papier. Cliché A. Giovannini.

Domages provoqués par des insectes. Cliché A. Giovannini.



Reliures endommagées par des insectes, probablement des anobiidés ou des dermestidés attirés par la colle. Cliché A. Giovannini.

3. 1.5.3. Les rongeurs et autres animaux

D'autres animaux peuvent trouver refuge dans les services d'archives ou dans des lieux de stockage de documents et y causer des dégâts.

Les rongeurs sont les plus fréquents.

1.5.3.1. Les rongeurs

Ce sont essentiellement :

- les souris
- les rats

Les souris ne mesurent que 80mm de la pointe du museau au bout de la queue. **Elles peuvent se glisser en s'aplatissant considérablement sous une porte dans un espace d'1,5 cm.** En zone tempérée, elles cherchent refuge dans les bâtiments en automne, dès les premiers froids. **Elles déchiquent le papier pour faire leur nid.** De plus elles laissent leurs excréments et leurs urines qui tachent les documents. Les excréments de souris sont lisses, foncés et de forme généralement pointue.

Les rats sont sociables et vivent en colonies qui peuvent atteindre plusieurs centaines

d'individus. Leur taille est d'environ 45cm de la pointe du museau à la queue. Parmi les 180 espèces recensées, les plus connues sont :

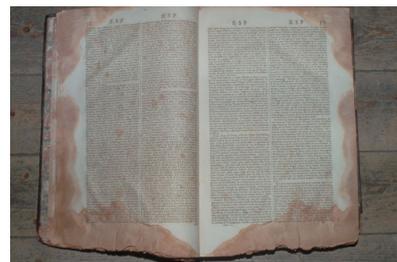
- **le rat noir** (*rattus rattus*) : de couleur gris foncé, il est pourvu d'une queue longue et effilée. Il est bon grimpeur et envahit volontiers les greniers et les combles.
- **le surmulot ou rat d'égout** (*rattus norvegicus*) : il est brun, plus lourd, plus massif avec une queue courte et épaisse. Il ne grimpe pas bien et se cantonne aux rez-de-chaussée, caves et égouts.

Les dégâts causés par les rats sont moins fréquents que ceux des souris, car ils nichent dehors, dans des terriers souterrains. De plus, il leur faut un moyen d'accès assez important qu'ils n'ont pas, en général, dans les magasins d'archives. Mais ils peuvent s'introduire dans des bâtiments industriels ou administratifs désaffectés où seraient encore stockés des archives, par exemple. **Ils ne s'attaquent aux documents que pour user leurs incisives.** Les marques sur les documents endommagés sont beaucoup plus grosses que celles des souris. De plus, ils laissent leurs excréments et de leurs urines. Les excréments de rats sont plus gros, de forme ovale, et se concentrent dans les recoins protégés des pièces.



Marques de dents de rongeurs. Cliché A. Giovannini.

Document endommagé par l'urine des rongeurs. Cliché A. Giovannini.



1.5.3.2. Autres animaux

D'autres animaux peuvent pénétrer dans des locaux où sont entreposées des archives et causer des dégâts :

- **Les oiseaux**, notamment les pigeons. Ils souillent les documents de leur fiente. De plus, la proximité de leurs nids désaffectés peut être l'origine d'une infestation par les dermestidés.
- **Les chauves-souris** : elles envahissent volontiers les greniers et les combles où elles nichent. **Elles souillent les documents de leur fiente et de leur urine qui tache de façon indélébile. Surtout, leur fiente peut contenir le germe de l'histoplasmosse.** Cette maladie fongique se transmet à l'homme par l'inhalation de poussières résultant de la décomposition de la fiente de chauve-souris. Elle atteint essentiellement les poumons et peut être mortelle. **Il est essentiel lorsque l'on travaille dans un local où ont séjourné des chauves-souris, pour un sauvetage d'archives par exemple, de se protéger en portant des gants et un masque anti-poussière.**

F. 1.6. Les facteurs humains



Les facteurs humains ne sont pas négligeables dans la dégradation des documents.

Le rangement et le conditionnement, la manipulation et l'utilisation des documents peuvent être à l'origine de dommages importants, surtout d'ordre mécanique.

Il ne faut pas banaliser ce type de dommages, d'autant qu'ils sont souvent beaucoup plus faciles à éviter, par des mesures simples et peu coûteuses, que ceux provoqués par les

conditions climatiques, par exemple

1. 1.6.1. Les dommages mécaniques

Les dommages mécaniques peuvent être dus :

- à de mauvaises conditions de rangement et de conditionnement
- à des erreurs de manipulations



Voici par exemple un rayonnage dans lequel il est urgent de mettre de l'ordre si l'on veut éviter de nombreux dommages mécaniques. Cliché A. Giovannini.

1.6.1.1. Les volumes reliés

Les volumes reliés — livres et registres — mal entreposés peuvent subir des déformations qui affectent essentiellement la reliure. Une fois celle-ci détériorée, les pages, beaucoup plus vulnérables sans leur protection, s'abîment à leur tour. Il est souvent impossible de restaurer des volumes déformés sans démonter totalement la reliure.

Plus le volume est grand, épais et lourd — c'est très souvent le cas des registres — et plus la reliure est souple — soit d'origine, soit à cause d'altérations diverses—, plus les risques sont importants.



Ces volumes de grande taille ont été conservés debout, ce qui a occasionné des déformations. Clichés A. Giovannini.

La déformation peut affecter soit le dos du volume, soit son corps.

La déformation du dos, qui, de convexe ou plat devient concave, entraîne la celle de la tranche de gouttière qui, de ce fait, n'est plus protégée par la reliure. Les forces exercées alors sur les charnières peuvent entraîner la dissociation complète du corps et de la reliure.



Les déformations du corps se rencontrent surtout sur des volumes très souples ou peu épais de très grande dimension. Elles sont typiques des volumes manquant d'appui latéral sur une étagère en partie vide ou mal calés par des serre-livres inadaptés par exemple.

Un volume très souple et lourd, placé entre des volumes plus stables, peut glisser derrière ses voisins ; la partie qui se trouve alors sans soutien latéral se déforme rapidement. C'est souvent le cas sur des rayonnages mobiles à la suite d'un maniement peu précautionneux.

Un volume appuyé obliquement subit aussi une déformation qui impose une forte tension à ses charnières et à sa couverture.

1.6.1.2. Les brochures et feuilles isolées

Les brochures et les cahiers isolés sont particulièrement fragiles et exposés aux déformations, plis et déchirures. La plupart des brochures ne supportent pas le rangement vertical que ce soit sur une étagère



Les documents souples ne supportent pas le stockage à la verticale. Clichés A. Giovannini.



Document isolé

ou dans une boîte, surtout si cette dernière n'est pas entièrement remplie.

Les documents sous forme de feuilles isolées de format A4 (France) ou de format 8½ x 11 Québec) qui forment la majorité des archives, sont souvent entassés dans des boîtes sans protection particulière.

Si la boîte est rangée verticalement et n'est pas entièrement remplie, les feuilles se déforment comme les brochures ci-dessus.

A contrario, **les boîtes excessivement remplies sont aussi une cause de dommages mécaniques**, car les utilisateurs vont avoir tendance à forcer pour remettre en place les documents, ce qui peut occasionner plis et déchirures.

Ce conditionnement est trop petit pour les documents contenus, ce qui engendre des dommages mécaniques. Cliché A. Giovannini.



L'utilisation de ficelles ou d'élastiques pour maintenir les documents en liasses occasionne des coupures dans le papier. Par ailleurs, les élastiques se dessèchent et collent sur les documents lorsqu'ils sont en contact direct avec eux.

1.6.1.3. Les documents de grand format

Les documents de grand format sont naturellement plus menacés que les autres.

Le risque de dommages mécaniques augmente avec le format du document et avec la fragilité, originelle ou acquise, de son papier.



Plans et affiches sont ainsi fort mal conservés et risquent de subir des dommages mécaniques. Cliché A. Giovannini.

Parmi les documents les plus menacés on trouve les dessins techniques et d'architecture, les cartes et les plans, les affiches.

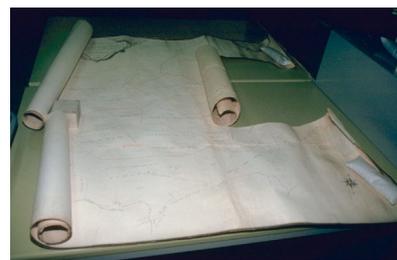
Le mode de conservation à plat est nettement préférable à tout autre, mais même ainsi, c'est au cours des manipulations pour les extraire ou les remettre en place que ces documents risquent d'être endommagés.

La conservation en rouleaux présente des inconvénients multiples :

Sans un support rouleau de carton ou noyau de bois, les rouleaux s'écrasent facilement et la feuille est marquée de plis réguliers, souvent indélébiles. Les extrémités du rouleau et le côté de la feuille qui reste à l'extérieur sont particulièrement exposés aux plis et déchirures. L'utilisation fréquente de ficelles ou d'élastiques augmente encore les risques.

D'une manière générale, la conservation en rouleaux entraîne une déformation des feuilles : elles se stabilisent dans cette forme, perdent leur souplesse et il devient difficile de les remettre à plat. En cas de forte altération du papier, la feuille peut présenter des brisures ou déchirures régulières correspondant à la moitié de la circonférence du rouleau ; plus le diamètre du rouleau est réduit, plus ces dommages sont graves.

Ces plans sur papier épais et rigide ont gardé la forme que leur a donnée le stockage en rouleau. Ils se déchirent lorsqu'on essaie de les dérouler. Cliché A. Giovannini.



1.6.1.4. Les risques de frottements

Certains documents craignent les frottements. Une partie des encres anciennes peut craindre les abrasions causées par le contact direct avec d'autres documents ; de nombreuses techniques artistiques sont sensibles à ce danger, en particulier les œuvres tracées au crayon, à la sanguine ou avec des pastels.

Les frottements entre les reliures peuvent entraîner des abrasions et la formation de déchirures sur des cuirs délicats. Il faut notamment être particulièrement vigilant aux dégâts que peuvent infliger à d'autres volumes des reliures munies de coins ou de fermoirs en métal sans protection.



Cette reliure fragile a été endommagée par le frottement avec les autres volumes. Par ailleurs, l'étagère est très mal rangée, de sorte que l'entassement des volumes peut provoquer d'autres types de dommages mécaniques. Cliché A. Giovannini.

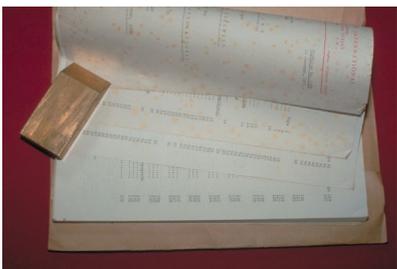
Ces frottements peuvent être dus aux manipulations pour extraire ou remettre un volume sur l'étagère ou aux vibrations engendrées par le mouvement d'étagères mobiles.

2. 1.6.2. Les dommages chimiques

La mauvaise qualité de papiers et de cartons utilisés pour conditionner les documents peut être à l'origine de dommages chimiques. En effet, les produits de l'altération chimique de ces matériaux peuvent migrer vers les papiers avec lesquels ils sont en contact et accélérer les processus de dégradation et de vieillissement naturels.

En effet, les produits de l'altération chimique de ces matériaux peuvent migrer vers les papiers avec lesquels ils sont en contact et accélérer les processus de dégradation et de vieillissement naturels.

En effet, les produits de l'altération chimique de ces matériaux peuvent migrer vers les papiers avec lesquels ils sont en contact et accélérer les processus de dégradation et de vieillissement naturels.



Ici, les documents ont été endommagés par le contact avec une chemise en papier acide. Cliché A. Giovannini.



Ce plan était enroulé sur un noyau de carton acide. Toute la partie du document qui est restée en contact prolongé avec ce carton a pris une coloration plus foncée. Cliché A. Giovannini.

En général, tout le matériel de bureau ordinaire devrait être proscrit pour la conservation à long terme.

Un phénomène similaire peut se produire lorsque des documents ayant des natures chimiques différentes sont mis en contact, par exemple, des papiers pur chiffon avec des papiers de type industriel essentiellement fabriqués à base de bois.

Les passe-partout et les fonds destinés à protéger les gravures les dessins, les photographies peuvent avoir une influence néfaste si le matériau dont ils sont faits contient des impuretés du bois ou présente un caractère acide.

Les agrafes, trombones, épingles, attaches parisiennes métalliques qui se trouvent fréquemment dans les documents d'archives au moment de leur versement sont aussi des facteurs de risques et peuvent causer des dommages aussi bien mécaniques que chimiques par suite de leur oxydation.

qui se trouvent fréquemment dans les documents d'archives au moment de leur versement sont aussi des facteurs de risques et peuvent causer des dommages aussi bien mécaniques que chimiques par suite de leur oxydation.

qui se trouvent fréquemment dans les documents d'archives au moment de leur versement sont aussi des facteurs de risques et peuvent causer des dommages aussi bien mécaniques que chimiques par suite de leur oxydation.

Ces éléments, lorsqu'ils sont déclarés inoxydables par les fournisseurs, peuvent être un peu moins dangereux en pays tempéré, mais il faut bien noter qu'**en climat tropical humide et équatorial, aucun n'est inoxydable.**

3. 1.6.3. Les dommages dus aux autocollants

Les pièces collées sur les documents — étiquettes de cotation sur des registres par exemple — peuvent occasionner des dommages locaux par l'action néfaste de la colle et du papier utilisé.

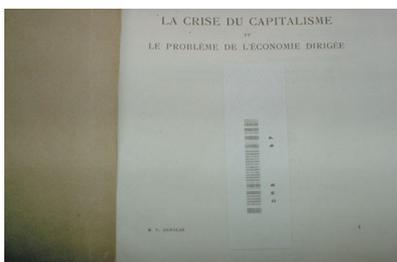
Les dommages dus à la colle peuvent être
peuvent être

- **directs** : une colle chimiquement instable réagit avec le matériau sur lequel elle est appliquée et entraîne une altération locale.
- **indirects** : il peut être nécessaire de décoller les éléments collés, remplacer par exemple une étiquette parce qu'elle est abîmée ou parce qu'il y a eu changement de cotation ; cette opération peut s'avérer très difficile et endommager le document.

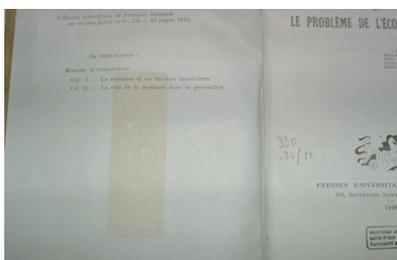


Le démontage d'anciennes étiquettes a été source de dommages pour ces reliures. Cliché A. Giovannini.

Les autocollants sont utilisés dans les services d'archives pour l' étiquetage ou pour des réparations rapides de feuilles ou de livres endommagés.



Recto...



...et verso d'une étiquette autocollante. La colle a migré dans le papier, provoquant une tache au verso. Clichés A. Giovannini.

Afin d'être bien conscient des dommages qu'ils peuvent causer, il est utile de comprendre la structure et le mode d'action d'un autocollant. Un autocollant est formé par quatre couches. **La couche de colle est l'élément qui pose le plus de problèmes.**

Complément : La structure d'un autocollant

Un autocollant est formé de quatre couches :

- une couche de papier ou de matière plastique
- une couche de colle
- une couche anti-adhérente qui empêche que l'autocollant colle sur lui-même
- une couche de "primer" qui garantit l'adhésion de la colle au support de l'autocollant.



Macrophotographie d'un rouleau de ruban autocollant. La colle a migré depuis la surface de l'autocollant vers les bords. De même, la colle migre dans le papier sur lequel l'adhésif a été apposé. A terme, l'autocollant cesse d'adhérer et il ne reste que la colle, souvent oxydée et de couleur brunâtre dans le papier du document. Cliché A. Giovannini.

Pour maintenir son pouvoir "autocollant", **la colle** ne doit ni sécher ni durcir. Assez liquide, elle ne se stabilise pas : elle **peut migrer dans le support** sur lequel l'autocollant a été apposé et réagit avec celui-ci. Il en résulte, à plus ou moins long terme, que la pellicule de papier ou de plastique de l'autocollant se détache, ne laissant sur le support que la colle. Celle-ci réagit avec le support en formant des produits, souvent de couleur jaunâtre ou brunâtre, qui peuvent être stables, très difficilement solubles et qui posent des problèmes complexes pour la restauration. Il n'est pas rare aussi que l'encre parte avec la pellicule de papier qui se détache, auquel cas il y a **perte du texte**.

Pour des usages à moyen et à long terme, les autocollants sont toujours inefficaces et dangereux.

Certains "autocollants pour archives", proposés pour l'étiquetage ou la réparation, utilisent des papiers de bonne qualité et des colles chimiquement plus stables. Malgré toutes les allégations des fournisseurs, ces autocollants ne sont guère plus recommandables, car il n'est pas possible de prévoir à moyen ou long terme les réactions de la colle avec le support.

Les "autocollants temporaires", par exemple les étiquettes "Post-it", représentent, eux aussi, un certain danger. En effet quand on détache l'étiquette provisoire, des traces de colle restent liées au papier et leur nocivité à moyen ou à long terme est probable.

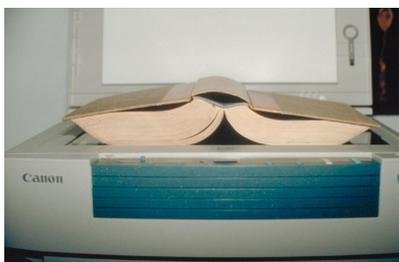
Enfin, l'utilisation de films en plastique transparent pour doubler entièrement la couverture de documents brochés, pratique fréquente dans les bibliothèques de lecture publique, doit être exclue pour la conservation à long terme.

4. 1.6.4. Les dommages dus aux photocopies

La photocopie peut causer des dommages de types mécanique et chimique.

Elle provoque **principalement des dommages mécaniques, particulièrement pour les documents reliés** : en effet la personne qui fait la photocopie est bien souvent obligée de casser la reliure du volume ouvert à plat en appuyant fortement sur le dos pour obtenir une copie satisfaisante. Il existe sur le marché quelques modèles de photocopieurs spéciaux pour bibliothèques munis d'une vitre d'exposition à pan coupé, mais ils sont coûteux.

Les dommages mécaniques peuvent aussi être provoqués par les **multiples manipulations** nécessaires à la photocopie, notamment lorsqu'il s'agit de documents de grande taille.



Ce type de manipulation force et endommage la reliure.
Cliché A. Giovannini.

Les autres effets néfastes de la photocopie n'ont pas fait l'objet d'études scientifiques précises, mais certains dangers sont souvent évoqués :

- La décharge lumineuse produite par la photocopieuse est très intense et peut contribuer à la dégradation du papier et à l'affaiblissement de certaines encres et couleurs sensibles, surtout si le document est photocopie à plusieurs reprises.

produite par la photocopieuse est très intense et peut contribuer à la dégradation du papier et à l'affaiblissement de certaines encres et couleurs sensibles, surtout si le document est photocopie à plusieurs reprises.

- produite par la photocopieuse est très intense et peut contribuer à la dégradation du papier et à l'affaiblissement de certaines encres et couleurs sensibles, surtout si le document est photocopie à plusieurs reprises. En cas de photocopies multiples d'un même original, la vitre du photocopieur devient de plus en plus chaude : cette chaleur est néfaste au document.
- Les forts courants électrostatiques dans certains photocopieurs produisent un dégagement d'ozone ; si l'aération est insuffisante, l'atmosphère ainsi polluée accélère le vieillissement des documents se trouvant dans cet environnement. Elle peut également être nuisible pour les personnes, en cas d'utilisation intensive de ces appareils.

5. 1.6.5. Les dommages dus aux réparations «bricolées» et aux restaurations non conservatives

Face à un document endommagé, la tentation d'exécuter rapidement une réparation avec les "moyens du bord" est forte. **Les réparations "bricolées" et les restaurations non conservatives causent souvent des dommages qui n'apparaissent qu'à moyen ou à long terme et sont très difficiles, parfois même impossibles à corriger.**

L'usage d'autocollants ou de colles "ordinaires" vendus dans le commerce cause souvent à terme davantage de dégâts qu'une absence d'intervention. Même les autocollants vendus par des fournisseurs spécialisés dans les matériaux de conservation doivent être regardés avec méfiance.



Ce document a subi une réparation ancienne avec du ruban adhésif. Même après s'être détaché ou avoir été retiré volontairement, l'autocollant laisse les traces brunâtres de la colle qui a migré dans le support. Cliché A. Giovannini.



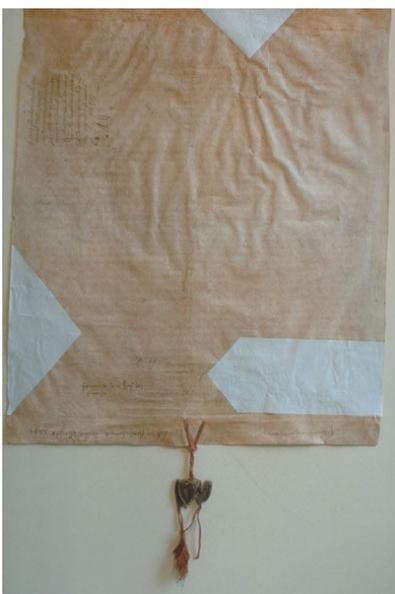
Encore une réparation malheureuse d'un document déjà fort endommagé. Cliché A. Giovannini.

Une restauration peut devenir destructive de diverses façons :

- D'une part, beaucoup de restaurations ont eu pour conséquence la perte définitive de matières originales ou d'informations contenues dans le document , par exemple :
 - la perte ou la modification d'une reliure ou de ses parties
 - le rognage des feuilles
 - un nettoyage des marges qui peut effacer des mentions marginales devenues visibles seulement par fluorescence UV à la lampe de Wood
 - l'absence d'un rapport détaillé sur les caractéristiques du document
- D'autre part, les méthodes utilisées pour la restauration peuvent être nuisibles à la conservation, par exemple :
 - Dans le passé, beaucoup de restaurations ont été excessives et ont entraîné une modification du document bien au-delà du strict nécessaire.

- Certains traitements, bien qu'efficaces à court terme, peuvent être nocifs à long terme. Les dommages dus aux lavages et blanchiments "au juger" du papier, les applications de vernis et couches protectrices, les réparations avec des papiers et des colles inadéquates, les traitements des cuirs avec des produits inadéquats, etc. posent des problèmes de restauration plus grands que si le document n'avait pas été traité.
- Certaines méthodes de restauration, bien que correctes, ne sont pas adaptées, de par leur nature ou leur mode d'application, aux caractéristiques du document. Par exemple, le traitement aqueux d'un papier acide peut provoquer un affaiblissement des encres.

Toute réparation, toute restauration doit être effectuée par un spécialiste compétent, après un diagnostic précis et selon un protocole décrit dans une fiche détaillée d'intervention.



Document en parchemin grossièrement réparé avec du papier et une colle non appropriée. Cliché A. Giovannini.



Ce parchemin a subi un traitement chimique destiné à renforcer la couleur de l'encre du texte. Il est irrémédiablement taché. Cliché A. Giovannini.

6. 1.6.6. Les dommages dus aux manipulations

Le geste d'extraire un document d'une étagère ou de le ranger peut être source de dommages, s'il est exécuté avec maladresse et sans précaution :

- En attrapant un volume relié par la coiffe, qui est une des parties les plus fragiles de la reliure, on peut la déchirer.
- En forçant un volume à entrer dans une place trop étroite, on peut plier ou déchirer les pages extérieures
- En cherchant à créer une place suffisante pour le volume que l'on désire ranger, on peut faire glisser et déformer d'autres volumes

Pendant le transport des documents à l'intérieur du service, il est aussi possible de causer des dommages.

Par exemple, dans un chariot où les documents sont entassés pêle-mêle :

- les documents les plus fragiles peuvent être écrasés par des registres lourds posés au-dessus
- certains peuvent tomber à terre
- d'autres, qui dépassent, peuvent heurter les murs.

Certains types de documents sont particulièrement sensibles aux pressions et aux chocs : c'est le cas par exemple de tous les types de sceaux.

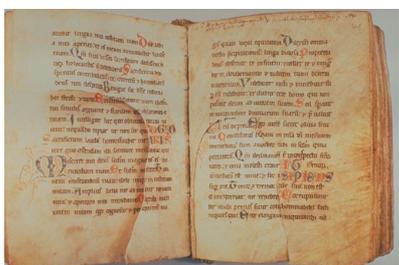
7. 1.6.7. Les dommages dus à l'utilisation

Les dégâts dus à la manipulation ou à l'utilisation sont souvent causés par les lecteurs. Les dommages peuvent être de type physique ou chimique.

Ils peuvent être causés, par exemple :

- par des manipulations maladroitement et des habitudes néfastes
 - On peut endommager les documents reliés — particulièrement les reliures anciennes qui s'ouvrent difficilement —, les parchemins, les plans roulés en forçant leur ouverture ou en les déroulant.
 - Le papier peut être altéré par le contact avec des objets durs ou épais utilisés comme signets, par une manipulation peu soignée des pages et feuillets.
 - L'utilisation des documents comme sous-main pour écrire laisse fréquemment des traces en creux dans le papier et peut entraîner la cassure de papiers très fragiles.
 - Les documents de grand format sont facilement endommagés si on ne les manipule pas des deux mains et avec soin.
 - Les documents scellés sont particulièrement fragiles : le simple choc d'un sceau sur une table de travail non recouverte d'une matière souple — feutre, par exemple — peut briser ou provoquer le détachement de fragments des sceaux en cire.
- Par l'utilisation de matériel dangereux ou nocifs :
 - Il est rare que des lecteurs écrivent sur les documents, mais l'utilisation d'encre pour la prise de notes, que ce soit en flacon, avec un stylo à bille ou avec un stylo à encre, est un risque non négligeable de tache sur les documents, soit par éclaboussure, soit par geste brusque. C'est pourquoi de plus en plus de services exigent l'utilisation exclusive de crayons à papier.
 - L'utilisation de signets autocollants de type "post-it" laisse souvent des reliquats de colle invisibles ; si ces signets sont oubliés entre les pages, ils peuvent devenir nuisibles à moyen terme pour le papier ou pour le texte.
- Par des actes de vandalisme et des vols :

La mutilation, par découpage avec une lame de rasoir ou par déchirement d'une page est toujours à craindre.



Page de manuscrit découpée : le vandale a probablement pris une partie du texte qui comportait une lettrine ou une enluminure. Cliché A. Giovannini

- Par la simple manipulation à mains nues et l'apport de substances organiques :
 - La manipulation des documents avec des mains sales ou moites apporte localement de l'humidité, des graisses et d'autres réactifs chimiques qui peuvent altérer support et écritures manuscrites. De plus, le frottement des doigts sur des encres et des pigments de documents non imprimés provoque des altérations aussi bien physiques que chimiques.

- La manipulation directe à mains nues de tous les supports photographiques cause le plus souvent des dommages irréversibles. Cette observation est valable également pour les bulles en plomb qui scellent certains documents. C'est pourquoi dans certains services d'archives, des gants sont fournis aux lecteurs.
- L'habitude d'humecter les doigts sur les lèvres avant de tourner les pages a des conséquences négatives pour la conservation : par ce geste on apporte de l'humidité, des protéines et des sucres de la salive et on fixe sur la page la saleté qui se trouvait sur les doigts.
- Le simple fait de parler au-dessus d'un document équivaut à l'arroser de micro-gouttelettes de salive qui sont nocives pour la conservation.

2. La détérioration des matériaux

Tous les grands facteurs communs de détérioration étudiés dans le chapitre 1 sont susceptibles d'intervenir dans les processus de dégradation des documents, quels que soient les matériaux qui les composent.

Mais il convient de considérer deux aspects plus spécifiques :

- chaque matériau a sa façon de réagir par rapport à ces facteurs
- certains matériaux possèdent en eux-mêmes des facteurs endogènes de détérioration : c'est notamment le cas du papier.

A. 2.1. Le papier

Nous considérerons trois types de facteurs de détérioration du papier :

- Les facteurs endogènes, liés aux propriétés de la cellulose et à son vieillissement naturel
- Les facteurs internes, liés aux autres composants du papier selon les procédés de fabrication
- Les facteurs externes et leur influence particulière sur la détérioration du papier.

1. 2.1.1. Les facteurs endogènes

- Ces facteurs endogènes provoquent une altération de la cellulose.

Toute modification de la structure chimique ou de la disposition spatiale de la molécule de cellulose a pour conséquence des changements importants et directement perceptibles de ses qualités.

Les processus d'altération ont lieu d'abord dans la partie amorphe.

Ces processus sont principalement :

- **l'oxydation**
- **l'hydrolyse**
- **la formation d'un réticulé**

Ces trois processus peuvent coexister et interagir.

Complément : L'oxydation

L'oxydation modifie les groupes H-C-OH. En perdant un atome d'hydrogène, ils forment des groupes H-C=O (aldéhydes) très réactifs. A leur tour, ces groupes peuvent s'oxyder en liant un atome d'oxygène, pour former des groupes OH-C=O (-CO OH), dits carboxyles. Cette réaction peut avoir lieu en différents endroits de la molécule. Les acides organiques sont caractérisés par la présence du groupe carboxyle -CO OH.

De l'oxydation de la cellulose résultent donc des acides organiques.

Pour cette raison, la mesure de l'acidité du papier donne une indication importante quant aux processus d'altération dans ce papier.

L'acidité est due à la présence de ions H⁺ (protons) qui existent sous une forme hydratée.

La mesure de l'acidité se fait dans une échelle pH (potentiel hydrogène). Le pH exprime la concentration de ions acides dans l'eau. A chaque unité de pH, l'acidité (ou l'alcalinité) augmente ou diminue de dix fois.

Le pH 7 correspond au point de neutralité ; c'est le pH de l'eau pure.

Un pH inférieur à 7 indique une solution acide.

Un pH supérieur à 7 indique une solution alcaline.

Le pH du papier peut varier entre une acidité marquée et une légère alcalinité.

Un papier de mauvaise qualité et fortement dégradé peut avoir un pH franchement acide (pH 3-4).

Complément : L'hydrolyse

Les acides résultant de l'oxydation de la cellulose favorisent un autre processus d'altération : l'hydrolyse.

L'hydrolyse est une réaction caractérisée par la rupture d'une liaison chimique par action ou en présence d'eau. La chaîne carbone, qui forme l'ossature de la molécule, se casse dans ses irrégularités.

La **rupture de la chaîne carbone** provoque une chute du degré de polymérisation : le papier perd alors toute solidité.

Au cours des processus d'oxydation et d'hydrolyse, il se forme aussi des réactions responsables du **jaunissement** du papier, qui est aussi un signe d'altération.

Complément : La réticulation

Les éléments issus de l'oxydation et l'hydrolyse réagissent aussi entre eux pour former de nouveaux complexes. La conformation des chaînes moléculaires s'en trouve modifiée : **la chaîne se casse et de nouveaux liens se forment**, en particulier dans les parties amorphes de la molécule qui perdent toute souplesse. **Ce phénomène est appelé réticulation.**

Le papier dont la cellulose a subi une réticulation devient **rigide et cassant**.

2. 2.1.2. Les facteurs internes

Le processus d'altération de la cellulose est inéluctable : il fait partie du vieillissement naturel.

En revanche, ce vieillissement peut être plus ou moins rapide en fonction d'influences internes et externes.

Parmi les facteurs internes qui favorisent la dégradation du papier, nous pouvons distinguer

- les composants du papier

- les méthodes de production

2.1.2.1. Les composants du papier

La présence d' hémicelluloses et de lignine dans le papier augmente sa réactivité et provoque une très forte accélération des réactions d'oxydation, d'hydrolyse et de formation d'un réticulé.

La lignine

- augmente la sensibilité du papier à la lumière, et en particulier au rayonnement ultraviolet, qui provoque une coloration jaune brunâtre.
- Cause une diminution de la résistance mécanique du papier.

Les colles à base de colophane et d'alun donnent au papier un caractère acide.

Les charges introduites dans le papier peuvent être :

- Soit favorables à la conservation si elles sont alcalines : carbonates de calcium et de magnésium
- Soit défavorables si elles sont acides : gypse, sulfate de baryum (baryte), alun.

La qualité de l'eau utilisée pour la fabrication de la pâte à papier peut aussi avoir une influence, notamment à cause de **métaux** qu'elle peut contenir. Le fer et le cuivre, par exemple, favorisent les altérations et contribuent à les accélérer. Les papiers de fabrication ancienne et artisanale sont davantage sujets à ce type de problèmes que les papiers de fabrication récente, car la qualité des eaux est aujourd'hui rigoureusement surveillée.

La présence d'**additifs nuisibles** dans les papiers de production industrielle peut aussi accélérer les réactions d'altération. On ne connaît pas encore l'influence de tous ces additifs.

2.1.2.2. Les méthodes de production

Le degré de polymérisation de la cellulose est influencé par les méthodes de production et par les traitements que la cellulose doit subir .

La cellulose de bois doit être libérée des impuretés et des incrustants et subit donc des traitements plus importants et plus agressifs que la cellulose issue de fibres textiles.

C'est pourquoi **les papiers à base de cellulose de bois vieillissent plus vite et plus mal que ceux fabriqués avec des fibres textiles**.

Parmi les méthodes agressives, on peut signaler particulièrement :

- Les méthodes de production de pâtes à papier chimiques
- Les procédés de blanchiment
- Le raffinage de la pâte

3. 2.1.3. Les facteurs externes

Les facteurs climatiques jouent un rôle déterminant, car ils ont une action directe sur l'altération du papier et influencent tous les autres mécanismes de dégradation.

La lumière et la pollution interviennent également, souvent en combinaison avec les facteurs climatiques.

De nombreux micro-organismes et insectes sont susceptibles de s'attaquer au papier, s'ils rencontrent des conditions favorables à leur développement. L'une des dégradations très connues du papier leur est aujourd'hui attribuée, quoique cela n'ait pas été totalement prouvé : **le " foxing " ou " papier piqué "**.

Enfin, le papier servant de support d'écriture, la **qualité des encres** peut avoir également une influence défavorable sur la conservation de ce support.

2.1.3.1. Les conditions climatiques

La température joue un rôle important dans la vitesse des réactions chimiques : plus elle est élevée, plus les réactions sont rapides. La dégradation chimique du papier n'échappe pas à ces règles.

L'humidité relative de l'air joue un rôle décisif dans la plupart des processus de dégradation.

Une humidité relative inférieure à 40% provoque le dessèchement du papier qui perd sa souplesse, devient rigide, fragile, cassant.

Une humidité relative supérieure à 60%-65% cause:

- une accélération très importante des réactions chimiques d'altération, qui nécessitent la présence de l'eau pour se produire
- le développement des micro-organismes et des insectes
- la migration d'éléments nuisibles, issus des réactions chimiques par exemple, toujours plus en profondeur dans le matériau, d'où une extension de la zone altérée
- la déformation par gonflement, en particulier dans les documents composites surtout si l'humidité augmente rapidement.

2.1.3.2. La lumière

La lumière est une forme d'énergie qui peut déclencher ou accélérer les réactions chimiques de dégradation du papier.

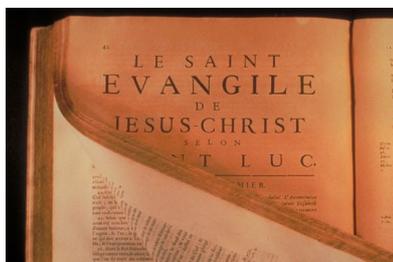
Le papier est très sensible à la lumière dont l'action peut s'exercer soit directement (photolyse), soit en combinaison avec d'autres substances comme, par exemple, la photo-oxydation avec l'oxygène de l'air.

La sensibilité du papier diffère sensiblement selon sa composition :

- Les papiers contenant de la pâte mécanique de bois, comme le papier journal, sont très sensibles et réagissent de manière très rapide aux rayonnements de longueurs d'onde inférieures à environ 500 nm, à cause d'une sensibilité spécifique de la lignine.
- Les papiers de fibres textiles ont une sensibilité un peu plus réduite.

L'intensité du rayonnement aussi est déterminante : ainsi, une forte quantité d'un rayonnement peu nuisible de par sa longueur d'onde engendre également des dommages.

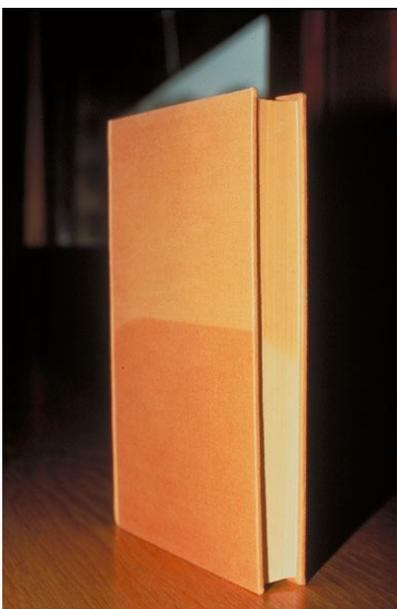
L'altération induite par la lumière se manifeste par le **jaunissement du papier**, signe de la formation de groupes chromophores liés aux réactions d'oxydation et d'hydrolyse. Ce jaunissement est accompagné d'une sensible **perte de souplesse et de résistance**. Plus la longueur d'onde de la lumière est courte, plus le jaunissement est accentué. Les rayons ultra-violetts sont donc particulièrement nocifs.



Papier jauni par l'action de la lumière. Ce volume a été exposé ouvert à sa page de titre dans une vitrine, d'où la différence de coloration entre cette dernière et les autres pages. Cliché A. Giovannini.



On remarque aisément sur cette estampe la différence de couleur entre les parties protégées et celles exposées à la lumière qui a provoqué le jaunissement du papier à pâte de bois. Cliché A. Giovannini.



Action de la lumière sur les papiers et cartons. On remarquera les différences de couleur sur la couverture et sur la tranche du volume, une partie ayant été protégée et l'autre exposée à la lumière d'une fenêtre. Cliché A. Giovannini.

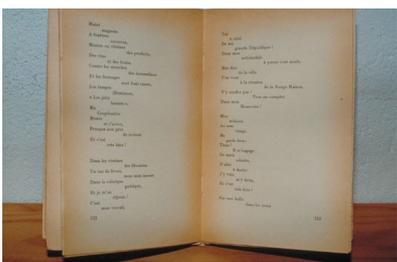
2.1.3.3. La pollution

Tous les polluants sont des réactifs chimiques très puissants qui peuvent provoquer des réactions d'altération ou intervenir, en les accélérant, dans des réactions déjà en cours.

L'ozone et le PAN ont une action oxydante qui aboutit à l'hydrolyse. Les acides qui se forment sont très dangereux pour la stabilité chimique du papier. En effet, la présence d'acide catalyse l'hydrolyse de la cellulose. **Le papier perd très rapidement sa souplesse et devient fragile.**

Les papiers contenant de la lignine, comme le papier journal, sont particulièrement sensibles, car déjà acides et confrontés à une forte altération endogène.

L'action des polluants acides et l'acidification causée par des facteurs internes au papier causent une répartition différente de l'acidité sur les pages des documents: la mesure du pH montre **qu'un registre attaqué par la pollution de l'air est altéré plus fortement dans les marges que dans le centre de la page**, alors qu'une altération endogène se développe, en principe, de manière plus uniforme sur toute la feuille.



Cliché A. Giovannini.

Les facteurs de détérioration peuvent se combiner : une température élevée, une forte

humidité de l'air et une grande quantité de lumière favorisent fortement l'action destructrice des polluants.

2.1.3.4. Le papier piqué

Cette altération est caractérisée par des **taches rondes assez étendues ou formant des points**, qui se développent sur certains papiers, notamment les gravures du XVIII^e au XX^e siècle.

L'origine de ce phénomène n'est pas encore totalement élucidé et peut être dû à des facteurs :

- **internes** : altération de la cellulose due à la présence d'ions métalliques
- **externes** : développement de micro-organismes (moisissures)

ou à la combinaison des deux.



Taches dues à des micro-organismes. Cliché A. Giovannini.

2.1.3.5. Les encres métallo-galliques

Les encres ne font pas partie des composants du papier, mais elles en sont solidaires dans la constitution du document.

La plupart des encres utilisées depuis le début du Moyen-Age jusqu'au XIX^e siècle et au-delà sont des encres métallo-galliques.

Malgré leur diversité, on peut distinguer trois composants fondamentaux, toujours présents :

- une solution tannique, obtenue généralement par macération de noix de galle ou de bois très riches en tanins
- un sel métallique, généralement du sulfate de fer ou de cuivre, appelé anciennement vitriol vert ;
- un liant, par exemple de la gomme arabique.

Le sel métallique est un facteur d'acidité qui peut, par différentes réactions chimiques, avoir différents effets :

qui peut, par différentes réactions chimiques, avoir différents effets :

- Apparition de taches rougeâtres sur l'encre, liée à une oxydation du fer
- Hydrolise de la cellulose, donc désintégration du papier
- Apparition de cristaux blancs quadrangulaires par formation de gypse.

Certaines encres particulièrement agressives provoquent la destruction complète du papier à l'endroit où se trouve le texte écrit. De plus, l'encre a tendance à migrer et à s'étaler tout autour du texte, transformant les mots en tâches à peine lisibles. Le papier étant détruit, **le texte, ou les taches ainsi formées, n'apparaissent plus que sous forme de lacunes**, la feuille de papier étant réduite à une sorte de dentelle impossible à manipuler.

Ce type d'altération se transmet aussi aux zones avoisinantes et aux feuilles directement en contact avec les parties atteintes.

Les anglophones lui donnent le nom de " *brown decay* ".

La gravité des dommages dépend de la qualité du papier, de son épaisseur, de la composition de l'encre et des conditions hygrométriques auxquelles le document a été

soumis. En particulier un **taux d'hygrométrie élevé** et de fréquentes variations de ce taux engendrent rapidement une aggravation. C'est pourquoi ce type de dégradation est fréquent **dans les pays tropicaux et équatoriaux**, qui, toutefois, n'en ont pas l'exclusivité.

Pour en savoir plus sur ce sujet, voir le site spécialisé créé à l'initiative de l'ECPA (European Commission on Preservation and Access) et de plusieurs institutions de conservation néerlandais : <http://www.knaw.nl/ecpa/ink/index.html>

B. 2.2. Le parchemin

Le parchemin possède une très bonne résistance au vieillissement, malgré sa sensibilité au facteur hygrométrique.

Sa nature alcaline le protège efficacement contre la dégradation acide et sa structure compacte le rend difficilement pénétrable.

Toutefois, il peut connaître des altérations dues à plusieurs facteurs externes.

1. 2.2.1. Les altérations causées par la chaleur

Le parchemin est extrêmement sensible à une forte chaleur. A environ 50°C, voire un peu moins pour les parchemins anciens, **le collagène qu'il contient se transforme en gélatine**, entraînant un **rétrécissement d'environ 30%**. Le parchemin devient transparent, jaunâtre et plus rigide. **Cette dégradation est irréversible.**

Cette température peut être atteinte en posant le parchemin à proximité d'une lampe ou de l'exposer au soleil à travers une vitre.

Soumis une température très élevée, au cours d'un incendie par exemple, le parchemin se carbonise.

2. 2.2.2. Les altérations causées par l'humidité et l'eau

Une humidité élevée et le contact avec l'eau représentent les plus grands dangers pour le parchemin, car ces deux facteurs impliquent :

- des risques d'apparition de **moisissures**
- des **modifications structurelles internes graves** : le parchemin gonfle et une partie de ses fibres perdent leur orientation parallèle à la surface. En séchant, il devient alors rigide et plus ou moins transparent. **Il se déforme**, car la contraction provoquée par le séchage n'est pas la même sur les diverses parties de la peau.

Il arrive qu'une tentative de mise à plat de parchemins par humidification directe et mise sous poids aboutisse à un résultat similaire : le parchemin est déformé en vagues rayonnant à partir de l'échine et sa rigidité accrue le rend plus difficile à manipuler.

Les variations climatiques intenses et rapides sont particulièrement nocives : le parchemin se contracte quand l'humidité diminue et se dilate lorsqu'elle augmente.

Une feuille de parchemin isolée peut suivre le mouvement sans trop souffrir. Du reste, même conservé dans de bonnes conditions climatiques, le parchemin a une tendance naturelle à onduler légèrement.

En revanche, un registre relié pose beaucoup plus de problèmes : chaque feuille se déforme à sa façon, entraînant une déformation générale du volume et une forte tension sur la reliure. Les fermoirs, généralement utilisés dans les reliures médiévales, permettaient de pallier ces problèmes.

3. 2.2.3. Les altérations biologiques

Le collagène, la substance basale qui reste entre les fibres, la capacité du parchemin à absorber et à retenir l'humidité en font un terrain de culture idéal pour les micro-organismes.

Dès 60% d'humidité relative, le parchemin peut être contaminé, alors que le papier et le cuir sont moins menacés.

A 70% d'humidité relative pendant une période prolongée, le développement des micro-organismes est fréquent et il devient systématique à 80%.

L'altération par les micro-organismes est une des dégradations les plus graves que peut connaître le parchemin : il perd toute consistance, devient spongieux et extrêmement fragile.

Des fonds entiers peuvent ainsi disparaître en quelques semaines.

Les possibilités de restauration sont encore plus limitées que pour le papier.

Certains insectes, comme les blattidés et, surtout, les dermestidés, se nourrissent volontiers de parchemin.



Parchemin attaqué par des blattes et des poissons d'argent. cliché A. Giovannini.



Détail des érosions occasionnées par les blattes et les poissons d'argent dans un parchemin. Cliché A. Giovannini.

4. 2.2.4. Les encres métallo-galliques

Les encres ou les pigments contenant des sels métalliques sont aussi nocifs au parchemin qu'au papier : ils favorisent la rupture des liens entre les fibres de collagène ou dans les chaînes moléculaires et entraînent ainsi une fragilisation du parchemin.

De fortes variations de l'humidité ambiante favorisent et aggravent les réactions chimiques provoquées par les métaux.

5. 2.2.5. La pollution atmosphérique

Le caractère alcalin du parchemin lui confère en général une résistance supérieure à celle des autres matériaux constitutifs des documents.

Mais certains procédés de fabrication peuvent avoir diminué l'alcalinité du parchemin, qui peut alors être sensible à la pollution oxydante de l'ozone.

6. 2.2.6. Les altérations mécaniques

Lorsqu'il est sain, le parchemin est d'une solidité remarquable. Il peut présenter

néanmoins des parties plus fragiles correspondant aux points de faiblesse — aisselles, pattes de l'animal — ou aux défauts de la peau : ces parties sont sujettes à des déchirures.

Le parchemin altéré, en revanche, peut devenir d'une extrême fragilité qui empêche toute manipulation.

Les documents roulés ou pliés dont le parchemin s'est durci dans cette position peuvent, à la consultation, subir des brisures et des craquelures lors de la tentative de mise à plat par le lecteur.

Il est notamment très préjudiciable d'écraser à sec un parchemin sous une plaque de verre pour une prise de vue photographique par exemple. Ce type d'opération doit être confié à une personne compétente.

C. 2.3. Autres matériaux

Les autres matériaux susceptibles d'entrer dans la composition des documents d'archives traditionnels peuvent connaître aussi des altérations, soit spécifiques, soit en liaison avec d'autres matériaux, soit les deux. En effet, le caractère composite de nombreux documents peut engendrer des dommages dus à un mode d'altération différent des matériaux.

Nous ne ferons ici qu'un très bref aperçu des détériorations possibles sans entrer dans le détail.

Les encres et pigments

Le cas des encres métallo-galliques est étudié fait l'objet d'un chapitre spécial.

De nombreuses encres pâlisent sous l'effet de la lumière, notamment du rayonnement ultra-violet, au point qu'elles deviennent parfois quasiment invisibles à l'œil nu. Les encres à base d'extraits végétaux et de nombreuses encres commercialisées depuis le début du XIXe siècle jusqu'à nos jours sont particulièrement sensibles.

Les colles

Qu'elles soient d'origine végétale ou animale, les colles sont sensibles aux variations climatiques, à l'humidité et à la chaleur : elles peuvent se dessécher, perdre leur capacité d'adhérence, migrer dans le support, jaunir ou brunir, etc. Le cas particulier des auto-collants est étudié dans un chapitre spécial.

Elles sont aussi particulièrement sujettes aux détériorations biologiques : de nombreux micro-organismes et insectes peuvent les attaquer.

Le cuir

Les capacités de vieillissement du cuir et ses processus de détérioration dépendent de la qualité de la peau, mais aussi des divers traitements qu'elle a pu subir: déchaulage, confitage, tannage, finissage.

Les tannages à l'alun sont souvent plus résistants dans le temps que les tannages végétaux. Par ailleurs, parmi ces derniers, les cuirs tannés depuis les deux cents dernières années se détériorent plus rapidement que les cuirs plus anciens.

L'altération du collagène se fait par des processus similaires à ceux qui affectent la cellulose — oxydation, hydrolyse, réticulation —, mais qui sont plus complexes et moins connus. Ils sont liés aux facteurs externes et internes, plus particulièrement : l'acidité, le contenu en eau, le contenu en graisse, la chaleur et la lumière.

Complément : Les altérations du cuir

- Les altérations dues à l'acidité : elles peuvent être dues à des facteurs internes ou externes.
 - Facteurs internes : le cuir a un caractère acide naturel lié aux traitements qu'il a subis, notamment le tannage, mais aussi les procédés de décoration. Cette acidité peut s'accroître sous l'effet d'une humidité excessive et entraîne alors

des altérations. Il devient alors extrêmement fragile. Certains cuirs deviennent très sensibles à l'eau : une goutte peut provoquer une brûlure acide définitive qui se traduit par le noircissement.

- Facteurs externes : la source majeure d'acidité est la pollution de l'air, plus particulièrement la pollution acide de composés de soufre. Les processus d'altération trouvent leur expression la plus aiguë et la plus grave dans ce que les anglophones appellent la " red rot " ou pourriture rouge : le cuir prend une coloration rougeâtre et se désagrège en poussière.
- Les altérations dues au contenu en eau : Le contenu en eau du cuir dans une atmosphère normale, 18°C, 50 à 50% d'HR est d'environ 14% ; l'eau assure le rôle de lubrifiant entre les fibres et assure au cuir sa souplesse et son élasticité. Si l'humidité relative baisse beaucoup, le cuir se dessèche, devient dur et fragile. De plus, le rétablissement de conditions hygrométriques plus favorables ne permet pas forcément une ré-hydratation complète du cuir : tout dépend de l'intensité et de la durée de la période sèche. La plupart des cuirs de reliure supportent mal d'être mouillés : ils peuvent changer de couleur, perdre leurs tanins, gonfler. Le séchage du cuir altéré gorgé d'eau provoque un rétrécissement.
- Les altérations dues au contenu des graisses : Le cuir contient naturellement des graisses en plus ou moins grande quantité selon l'animal d'origine et les traitements subis. Ces graisses augmentent la souplesse et l'élasticité du cuir et le protègent contre les variations hygrométriques. Mais ces graisses sont plus ou moins oxydables selon leur nature et peuvent, en se décomposant, augmenter l'acidité du cuir. La présence de graisses inadaptées produits pour chaussures par exemple ou en quantité excessive favorise aussi la dégradation biologique. C'est pourquoi un traitement des reliures, considéré comme préventif, avec des produits inadaptés peut provoquer un effet contraire à celui recherché, situation d'autant plus grave que ce type d'intervention est irréversible, l'élimination totale des graisses ayant pénétré dans le cuir étant impossible. En revanche, un apport de graisses adaptées à certaines cires spéciales mises au point en laboratoire, est considéré comme un bon moyen de protéger les reliures contre les facteurs extérieurs de dégradation, notamment la pollution de l'air.
- Les altérations biologiques : Le cuir est naturellement peu sensible aux altérations biologiques. Les produits de tannage, le contenu en acidité ne sont pas favorables au développement des bactéries et champignons. Toutefois, dans des conditions d'humidité très élevées, les attaques de micro-organismes sont possibles.
Par ailleurs, certains insectes apprécient particulièrement le cuir, principalement les blattidés, les anobiidés et les dermestidés (liens vers les pages).
- Les altérations dues à la chaleur et à la lumière : Le tannage augmente la capacité de résistance à la chaleur du cuir par rapport à la peau brute : un cuir tanné neuf eut résister à une température de 80°C, mais un cuir altéré supporte des températures bien moindres et peut déjà souffrir à 60°C. A noter que cette température est facilement atteinte par l'action du soleil à travers une vitre.
La lumière provoque la décoloration du cuir : il n'est pas rare de le constater sur les dos des livres, alors que les plats, protégés par le rangement, ont conservé leur couleur.
- Les altérations mécaniques : L'utilisation du cuir comme matériau de reliure le soumet à des tensions et des contraintes mécaniques qui peuvent lui être préjudiciables, notamment dans tous les endroits appelés à " travailler ", charnières, dos et de ce point de vue les méthodes de reliure ont une part de responsabilité dans la dégradation des volumes.
L'altération du cuir se manifeste visiblement par l'apparition de craquelures dans sa couche papillaire. La couche la plus superficielle du derme. D'abord microscopiques, elles s'accroissent peu à peu et peuvent aboutir à former des écailles. Le cuir devient alors très sensible à tout frottement ou même à toute pression.

Le bois

Matériau cellulosique par excellence, il est très sensible aux variations climatiques, peut gonfler ou se rétracter, ce qui entraîne déformations et fractures.

Il est aussi très sensible aux facteurs biologiques : micro-organismes et nombreux insectes, notamment les vrillettes (lien vers la page des anobiidés) et les termites (lien vers la page) Les cires et résines naturelles

Elles craignent beaucoup les variations climatiques, les fortes chaleurs, la sécheresse.

Elles deviennent facilement friables et sensibles au moindre choc ou frottement. C'est pourquoi il faut manipuler les documents scellés ou cachetés avec le plus grand soin.

Elles sont également sujettes aux attaques biologiques.

Les textiles

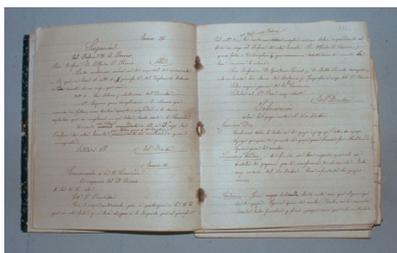
La majorité des textiles anciens que l'on trouve dans les archives sont faits de cellulose, sauf la soie qui est d'origine animale : ils sont donc sensibles aux mêmes facteurs de détérioration et présentent le même type d'altérations que le papier.

De plus, la détérioration des pigments qui souvent leur donnent leur teinte entraîne une décoloration sous l'effet de la lumière.

Enfin, ils sont particulièrement appréciés par certains insectes, notamment les attagènes et les anthrènes.

Les métaux

Tous les métaux, à quelques très rares exceptions près, sont sujets à oxydation sous l'effet de l'humidité. Ce phénomène chimique est aussi dommageable pour les matériaux avec lesquels ils sont en contact.



Les agrafes servant à tenir ensemble les feuilles de ce document ont rouillé sous l'effet de l'humidité et endommagé le papier. Cliché A. Giovannini.

3. Evaluer les conditions de conservation dans son service

Avant toute décision et toute programmation, il est indispensable d'évaluer les conditions de conservation dans son service.

A. Méthode d'évaluation des pratiques de conservation préventive dans un service d'archives

Le Centre inter-régional de Conservation du Livre d'Arles a mis au point en 2001 une méthode d'évaluation des pratiques de conservation préventive dans un service d'archives. Ce document a été publié par la Direction des Archives de France et est en ligne à cette adresse : <http://www.archivesdefrance.culture.gouv.fr/static/1126>

4. Evaluation des connaissances

Avez-vous bien compris tout ce qui vient de vous être enseigné?

Si vous voulez le vérifier, faites les exercices proposés ci-dessous.

Si vous ne savez pas répondre, ne regardez pas trop vite le corrigé, travaillez à nouveau la (les) section(s) précédente(s) où vous découvrirez les solutions.

Bien sûr, si vous n'y arrivez vraiment pas, vous pouvez consulter les réponses. Ne les lisez pas avec précipitation mais avec une grande attention et surtout essayez de comprendre.

A vous de jouer...

Exercice 1

Exercices sur les facteurs dommageables :

Plusieurs facteurs externes contribuent à endommager les documents. À l'aide des indices, nommer ces facteurs.

[Note : le but est de reconnaître le mot, chaque espace étant à remplir au moyen de la bonne lettre.]

p _____ l _____ ut _____ n

_____ um _____ d _____ t _____

t _____ p _____ ratu _____

lu _____ re

facteurs _____ iol _____ giq _____ es (effets des micro-

o _____ ga _____ is _____ s et des

_____ ni _____ a _____ x)

facteurs h _____ m _____ ns (manipulation non soignée)

_____ a _____ as _____ oph _____ s

(_____ cend _____ es, _____ non _____ tions,...)

Exercice 2

Exercice A sur la température et l'humidité :

Parmi les énoncés suivants, lequel est vrai?

- a. La température est le facteur le plus important pour la conservation des documents d'archives
- b. Plus la température de conservation est basse, plus les réactions sont rapides
- c. Le taux d'humidité idéal doit être maintenu aux environs de 25%
- d. L'humidité relative varie peu en fonction de la température
- e. La température d'un dépôt d'archives de papier et de parchemin doit être la plus basse possible
- f. Aucune de ces réponses.

Exercice 3

Exercice B sur la température et l'humidité :

Chasser l'intrus...

- a. L'excès d'humidité est un danger plus grave que le manque d'humidité
- b. Concernant les sources de lumière, les fréquences les plus longues sont plus énergétiques et plus pénétrantes que les fréquences courtes
- c. Une augmentation de l'humidité provoque une dilatation des matériaux
- d. La dégradation causée par la lumière est plus grande dans un environnement à haute humidité relative
- e. Aucune de ces réponses

Exercice 4

Exercice sur les sources de pollution de l'air :

À l'aide des indices, nommer les sources de pollution de l'air.

[Note : le but est de reconnaître le mot, chaque espace étant à remplir au moyen de la bonne lettre.]

Les g [] z nés du trafic routier, des transports aériens et maritimes

La production d'é [] gie et de c [] au [] fa [] e

Les [] déchets causés par la [] production et ag [] nd [] str [] el [] et ag [] co [] e

Les déchets causés par les p [] én [] m [] nes n [] t [] re [] s (volcans, pollens)

Exercice 5

Exercice sur les éléments microscopiques :

Nommer les éléments microscopiques qui entraînent la dégradation des supports.

[Note : le but est de reconnaître le mot, chaque espace étant à remplir au moyen de la bonne lettre.]

- a. V [] R [] S
- b. [] A [] TE [] IES
- c. [] AMP [] ONS
- d. M [] I [] S [] UR [] S

e. A _____ G _____ ES

f. F _____ UG _____ ES

g. _____ OU _____ ES

h. P _____ O _____ Z _____ AI _____ ES

Exercice 6

Exercice sur les facteurs de détérioration :

Compléter la phrase suivante : De tous les facteurs externes de détérioration, ----- est celui qui cause les dégâts les plus insidieux et les plus irréparables.

- | | |
|-----------------------|----------------|
| <input type="radio"/> | La pollution |
| <input type="radio"/> | L'humidité |
| <input type="radio"/> | La lumière |
| <input type="radio"/> | La température |

Exercice 7

Exercice sur les polluants, moisissures et autres problèmes :

Parmi les énoncés suivants, lesquels ont-ils vrais ?

- | | |
|--------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> | 1. Les polluants les plus nocifs pour les archives sont le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote et l'ozone |
| <input type="checkbox"/> | 2. Il n'est pas nécessaire d'identifier une moisissure pour la traiter |
| <input type="checkbox"/> | 3. Les moisissures ne se produisent que dans un milieu éclairé |
| <input type="checkbox"/> | 4. Le parchemin est particulièrement affecté par la dégradation acide |
| <input type="checkbox"/> | 5. Bien que causant un dommage évident, les micro-organismes entraînent une dégradation relativement lente des parchemins |

Les galeries associées à ce module

Ressources annexes

- **diagramme humidité saturante**

graph_a.swf

- **diagramme humidité saturante b**

graph_b.swf

Bibliographie

[Référence 1]

GIOVANNINI, ANDREA. *De tutela librorum*. Genève : IES éditions, 2ème édition, 1995, 526 p. Cet ouvrage a fait l'objet de deux rééditions revues et augmentées en 1999 et 2004. Une quatrième version est en préparation et paraîtra en 2010.

[Référence 2]

Préserver les objets de son patrimoine : précis de conservation préventive. Sprimont : Pierre Mardaga éditeur, 2001, 264 p.

[Référence 3]

LAVEDRINE, BERTRAND. *La conservation des photographies*. Paris : Presses du CNRS, 1990, 160 p. Cet ouvrage a été utilisé pour le chapitre sur les supports photographiques.