

Module 8 - Section 2 : Connaître les supports et les matériaux des documents

version 1

ANNE-MARIE BRULEAUX
ANDREA GIOVANNINI

14 novembre 2011

Table des matières

Objectifs	3
1. Le papier	4
1.1. La fabrication traditionnelle du papier.....	4
1.2. Évolution des méthodes de production jusqu'au XIXe siècle.....	9
1.2.1. La fabrication de la pâte à papier.....	9
1.2.2. Les méthodes de production de la feuille.....	11
1.3. La production industrielle du papier.....	13
1.3.1. La matière première.....	14
1.3.2. La production de la pâte à papier.....	15
1.3.3. La production de la feuille.....	18
1.4. Les papiers aujourd'hui.....	21
1.5. Structure physico-chimique du papier.....	22
2. Le parchemin	24
2.1. Historique du parchemin.....	24
2.2. Les caractéristiques du parchemin.....	24
2.2.1. La structure de la peau.....	25
2.2.2. La fabrication du parchemin.....	25
2.2.3. Le travail de rivière.....	25
2.2.4. Les caractéristiques d'un parchemin.....	26
3. Autres matériaux	27
3.1. Liste de matériaux.....	27
4. Les supports photographiques	29
4.1. Les images positives uniques.....	29
4.1.1. Le daguerréotype.....	29
4.1.2. Les autres procédés.....	30
4.2. Les négatifs.....	31
4.2.1. Le calotype.....	31
4.2.2. Les négatifs sur verre.....	31
4.2.3. Les négatifs gélatino-argentiques.....	32
4.3. Les tirages positifs en noir et blanc.....	33
4.3.1. Le papier salé.....	33
4.3.2. Le papier albuminé.....	33
4.3.3. Les positifs de l'ère industrielle.....	34
4.3.4. Le papier à développement.....	34
4.3.5. Les procédés non argentiques.....	35
4.4. Les procédés couleur.....	35
4.4.1. Les premières photographies en couleur.....	35
4.4.2. Les photographies en couleur modernes.....	36
5. Evaluation des connaissances : Historique des supports et des matériaux	37
6. Les galeries associées à ce module	38
Solution des exercices	39
Bibliographie	40

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. Le papier



Image 1 Le papier

Apparu en **Chine**, où il était fabriqué avec de la soie, au **II^e siècle avant Jésus-Christ**, le papier a mis dix siècles pour gagner l'Europe à partir du monde arabe.

Depuis le premier moulin à papier installé **en Italie au XIII^e siècle**, sa fabrication est restée artisanale jusqu'à la fin du XVIII^e siècle. Néanmoins, pour traditionnelles qu'elles soient, les techniques ont sensiblement évolué pendant toute cette période et ont influé sur la qualité des papiers produits

Le **XIX^e siècle** a vu, avec le développement de l'industrie, se développer des **techniques nouvelles** qui ont abouti à la production de papiers de **conservation particulièrement difficile**.

Cette évolution technique s'est poursuivie jusqu'à nos jours, tandis que le papier devenait le support de l'écriture le plus

répandu dans le monde entier. Il est encore actuellement le support massivement présent dans les archives.

Nous expliquerons donc

- en quoi consiste la fabrication traditionnelle du papier
- quelles ont été les techniques nouvelles apparues au cours des siècles jusqu'à la fin du XVIII^e siècle
- quelles sont les techniques utilisées depuis le XIX^e pour la fabrication industrielle

Ce faisant, nous mettrons tout particulièrement en valeur **les conséquences que l'évolution des techniques de fabrication a pu avoir sur la qualité et la conservation du papier**.

1.1. La fabrication traditionnelle du papier

Le principal constituant chimique du papier est la **fibre de cellulose** qui n'existe pas dans la nature à l'état pur.

Jusqu'au premier quart du XIX^e siècle, cette fibre de cellulose est obtenue à partir de **fibres textiles** :

- lin
- chanvre
- coton à partir du XVII^e siècle dans le monde occidental

1. Le papier



Complément : La fabrication de la pâte à papier

On obtient ces fibres en désintégrant des chiffons de récupération (la chiffe) pour obtenir de la pâte à papier selon les étapes suivantes :

- Tri des chiffons : selon la qualité des fibres, leur couleur et leur état d'usure, les chiffons étaient destinés à produire des papiers de qualité différente.
- Lavage des chiffons (avant ou après le tri) avec de l'eau et de la cendre, ou plus tard de la soude, pour les débarrasser des poussières et saletés.
- Fermentation de la chiffe dans le pourrissoir pendant 3 à 12 semaines selon la qualité des fibres et la saison. Le but de cette opération, où l'on alternait périodes de repos et arrosage, était d'affaiblir le lien entre les fibres, ni trop, ni pas assez. La qualité de l'eau, soigneusement filtrée et décantée, était importante pour celle du papier produit : la pureté et une certaine dureté de l'eau (présence de carbonates dissous constituaient des conditions favorables pour l'obtention d'un papier de qualité.
- Eventuel blanchiment des chiffons par exposition au soleil ou par adjonction de chaux, cette méthode apportant un caractère alcalin aux fibres.- Découpage en lanières et morceaux dans le dérompoir
- Déchiquetage dans une "pile à papier", ensemble de maillets de différentes formes garnis de clous et de dents métalliques, mûs par la force hydraulique.



Image 2 Pile à Maillets au moulin de Pen Mur, (France, Morbihan)

Le tout constitue le moulin à papier qui serait une amélioration technique apportée par les papetiers de Fabriano au XIII^e siècle par rapport aux techniques des arabes. La chiffe est ainsi triturée et écrasée par les maillets dans des cuves appelées " piles " où coule en permanence un filet d'eau afin de séparer les fibres de cellulose des autres composants de la chiffe. Le dernier maillet sans dents métalliques répartit uniformément les fibres dans l'eau pour obtenir une suspension régulière qui constitue la pâte à papier.

- Dilution de la pâte à papier dans une cuve et tiédissement par chauffage

Les 3 encarts suivants vous donneront des indications sur la formation de la feuille de papier

Voir la planche de l'Encyclopédie (Le pourrissoir)

Voir la planche de l'Encyclopédie (Le dérompoir)

Voir la planche de l'Encyclopédie (Moulin à maillets)

1. Le papier



Complément : Qu'est-ce qu'une forme à papier ?

Une **forme à papier** est un cadre rectangulaire en bois traversé parallèlement au petit côté par des lames de bois de section triangulaire, appelées **pontuseaux**.

Sur ces lames, sont fixés parallèlement au grand côté au moyen de chaînettes (fils très fins en laiton) des fils de laiton ou de bronze très proches les uns des autres : ce sont les **vergeures**. Ces fils forment une sorte de tamis qui retient la pâte à papier en laissant passer l'eau.

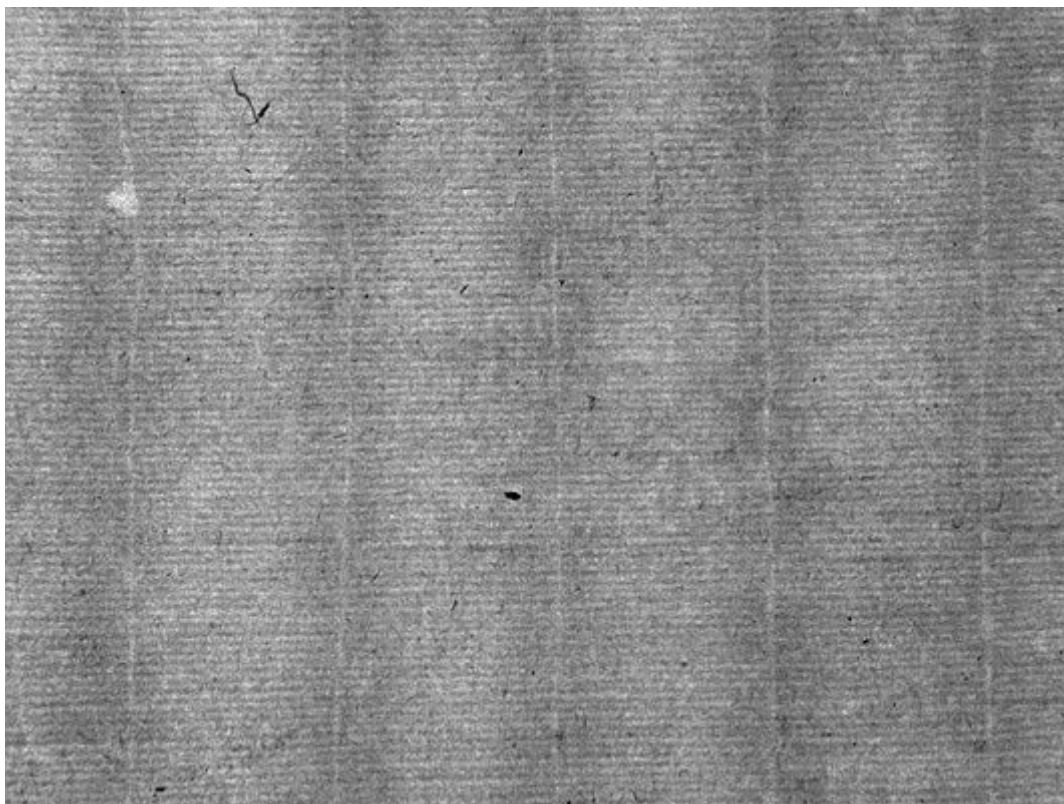


Image 3 Vergeures et pontuseaux

La forme ainsi constituée est complétée par un cadre mobile en bois, appelé **couverte**, qui vient s'ajuster sur elle et dont la hauteur détermine la quantité de pâte à papier prélevée, donc l'épaisseur de la feuille obtenue.



Ci-contre : forme à papier plongée dans la pâte, au moulin de Larroque (France, Dordogne).

Image 4 Forme à papier plongée dans la pâte

1. Le papier

Pour identifier sa production, le papetier fixe au fond de la forme un fil plus épais représentant des lettres ou un symbole. Ce fil laisse une marque en creux dans la feuille de papier : c'est le **filigrane** que vous pouvez voir par transparence. L'identification du filigrane peut, entre autres indices, permettre la datation approximative de documents non datés.

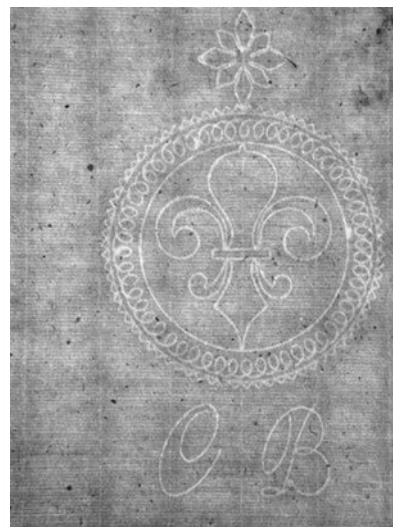


Image 5 Filigrane

Site de la Fédération française des Conservateurs-restaurateurs <http://www.ffcr.fr/>¹

Le remplacement des vergeures végétales, selon les techniques orientales, par des fils métalliques, ainsi que le filigrane, sont des innovations introduites par les artisans de Fabriano dès le XIII^e siècle.



Complément : La formation de la feuille

Deux ouvriers travaillent ordinairement à la production des feuilles de papier au moyen de deux formes dites jumelles :

- * l'ouvreur
- * le coucheur

L'enchaînement des tâches se fait de la façon suivante :

L'ouvreur prélève la pâte dans la cuve en favorisant par ses mouvements l'enchevêtrement des fibres pour former la feuille de papier. Après avoir enlevé la couverte, il dépose cette première forme sur le bord de la cuve.

Le coucheur prend cette forme et dépose la feuille ainsi formée sur un feutre en la recouvrant d'un autre feutre ; il constitue ainsi une pile où alternent feuilles et feutres. Il remet alors la forme vidée à la disposition du plongeur et s'occupe de la feuille que ce dernier vient de former.

Le plongeur prend la forme et prélève à nouveau de la pâte.

Et ainsi de suite...

Photographies prises au moulin de Larroque (France, Dordogne). A droite : l'ouvreur.



Image 6 ouvrier



A gauche : le coucheur.

Image 7 coucheur

La production de la feuille se poursuit par les opérations successives suivantes :

- Le premier pressage : la pile de feuilles de papier et de feutres est mise sous presse.

Le pressage des feuilles entre des feutres de laine est une des innovations techniques apportées par les papetiers de Fabriano.

A droite, la mise sous presse (Moulin de Pen Mur, France, Morbihan).



Image 8 mise sous presse



A gauche, les feutres (Moulin de Pombié, France, Lot-et-Garonne).

Image 9 feutres

- Le séchage : les feuilles sont suspendues sur des fils pour sécher. Dans la tradition arabe, les feuilles étaient mises à sécher sur des plaques de bois ou de métal. Le séchage sur corde semble être apparu au XV^e siècle.

Ci-contre, le leveur soulève délicatement les uns après les autres les feutres et les feuilles de papier encore humides pour les donner à l'étendeur (Moulin du Verger, France, Charente)



Image 10 étendeur



Ci-contre, l'étendeur (Moulin de Pen Mur, France, Morbihan).

Image 11 étendeur

Voir la planche de l'Encyclopédie (forme à papier)

Voir la planche de l'Encyclopédie (forme à papier)

Voir la planche de l'Encyclopédie (L'atelier à ouvrir)

Voir la planche de l'Encyclopédie (L'étendoir)



Complément : Les opérations de finition

L'encollage

Le papier ainsi produit est une sorte de buvard. Pour le rendre utilisable à l'écriture ou à l'imprimerie, il faut l'enduire d'une **colle à base de gélatine**, fabriquée à partir de déchets animaux (peaux, os, cartilages). Les feuilles de papier sont plongées dans un mélange tiède d'eau et de colle filtrée

On doit aussi cette méthode aux ouvriers de Fabriano. Les Arabes utilisaient une colle d'origine végétale (amidon).

Deuxième pressage pour éliminer l'excédent de colle.

Dernier séchage et troisième pressage

Après un séchage de deux à trois jours **sur des cordes**, les feuilles sont entassées et mises sous presse pendant quelques heures pour éliminer les déformations qui se sont produites lors du séchage.

Lissage : destiné à rendre le papier moins rugueux, il s'effectue à la main ou avec des outils en bois, en os ou en pierre.

Finition : après tri des feuilles défectueuses, les feuilles sont regroupées en **rames** (= 500 feuilles = 20 **mains** de 25 feuilles chacune) qui sont mises en presse une dernière fois.

Voir la planche de l'Encyclopédie (L'atelier d'encollage)

Voir la planche de l'Encyclopédie (L'atelier de lissage)

1.2. Évolution des méthodes de production jusqu'au XIXe siècle

Depuis le XIII^e siècle, l'évolution des techniques de production du papier a été constante, mais elle s'est fortement accélérée à partir du XVIII^e siècle. Il faut reconnaître que la plupart des innovations techniques ont eu pour objectifs **la rentabilité de la production et l'amélioration des qualités utilitaires du papier au détriment de sa durabilité**.

Vous pouvez prendre connaissance des techniques qui ont contribué à produire des papiers difficiles à conserver en reprenant les différentes étapes de la production à travers les chapitres suivants.

1.2.1. La fabrication de la pâte à papier

Aux XVIII^e et au XIX^e siècle, en raison de la pénurie de matières premières, on a essayé **de nouvelles fibres** pour fabriquer la pâte.

1.2.1.1. La matière première

Au XVIII^e, le **coton** entre en concurrence avec le chanvre et le lin, mais l'on fabrique toujours du papier "pur chiffon"

1. Le papier

- Dès **1741**, des essais sont faits à partir de **végétaux**
- En **1774**, est fait le premier essai de **recyclage** de vieux papiers.
- En **1800**, **Matthias Koops** est le premier à produire du papier commercial à base de fibres non textiles : il produit le premier livre imprimé sur **papier de paille**.
- En **1830**, la paille entre pour une part importante dans la composition des papiers aux Etats Unis. Bien avant le bois, elle est couramment utilisée comme matière de remplacement.

1.2.1.2. Le lavage et le blanchiment des matières premières

A partir du XVIII^e siècle, on ajoute de la soude à l'eau de lavage des chiffons.

En 1774, la découverte du **chlore** entraîne l'utilisation de produits chlorés dès la fin du XVIII^e siècle.

Le blanchiment, traditionnellement obtenu par l'exposition au soleil et parfois l'adjonction de chaux dans l'eau de lavage, se fait alors de plus en plus avec du chlorure de chaux, indispensable notamment pour les fibres issues de la paille qui jaunissent au soleil.

Au début du XIX^e siècle, on utilise des **produits chlorés** pour le blanchiment de chiffons déjà partiellement défibrés. Il s'ensuit qu'**une partie du chlore peut rester dans le papier, provoquant son vieillissement rapide**.

Suit l'opération de **défibrage**.

1.2.1.3. Le défibrage

La fin du XVII^e siècle voit l'arrivée dans l'industrie papetière d'une nouvelle machine pour le défibrage des chiffons : **la pile hollandaise**.

Son rendement, nettement supérieur à celui des piles traditionnelles, provoque une **baisse du coût** de production du papier, mais aussi une **baisse de qualité**. En effet, par sa forte capacité de défibrage et d'affinage, elle produit des fibres plus courtes, donc plus faibles qui donnent un **papier moins résistant**.



Complément : La pile hollandaise

La pile hollandaise est une cuve en bois ou en pierre de forme circulaire ou ovale, dans laquelle les fibres sont écrasées contre une plaque métallique par un cylindre rotatif en bois muni de lames métalliques. Différents réglages permettent de défibrer, puis d'affiner la pâte à papier.



Image 12 Représentation d'une pile hollandaise

Rabot (fig. 11) et spatule (fig. 12) avec lesquels on remue la pâte dans les cuves à cylindre et les cuves à ouvrir.

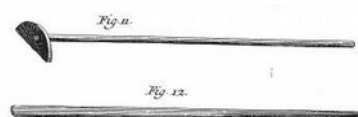


Image 13 Rabot et spatule



Image 14 Pile hollandaise encore en fonctionnement

Ci-contre et ci-dessous, pile hollandaise encore en fonctionnement : au moulin de Pombié (France, Lot-et-Garonne).



Image 15 au moulin de Pombié (France, Lot-et-Garonne).



Image 16 Au moulin du Verger

Ci-contre, au moulin du Verger (France, Charente).

La pile hollandaise a été introduite en France au milieu du XVIII^e siècle. Il est bon de savoir que le gouvernement a interdit pour les actes officiels l'utilisation de papiers produits par ce moyen jusqu'en 1861.

Voir la planche de l'Encyclopédie (Plan d'un moulin de type hollandais à cylindres)

Voir la planche de l'Encyclopédie (Détail de pile hollandaise)

Voir la planche de l'Encyclopédie (La cuve)

1.2.1.4. L' utilisation de charges

Pour rendre le papier plus opaque et plus compact, on a de tous temps utilisé des **charges**, c'est-à-dire des particules minérales dispersées entre les fibres de cellulose.

Traditionnellement **les charges sont composées de carbonate de chaux et sont favorables à la conservation du papier.**

En revanche, au XIX^e siècle, on a souvent utilisé comme charges du plâtre (sulfate de calcium), du sulfate de baryum ou de plomb, du kaolin ou du talc. Certaines de ces substances sont acides et sont donc préjudiciables à une bonne conservation du papier ainsi produit.

1.2.1.5. L'encollage

Dès le XVII^e siècle, on ajoute souvent à la gélatine de l'**alun** (sulfate double de potassium et d'aluminium), matière bien connue utilisée aussi par les tanneries. Cette méthode améliore la fixation de la colle et rend le papier moins sensible aux moisissures, mais tend à le rendre **acide**.

Au début du XIX^e siècle, la gélatine tend à être remplacée par de la **colophane**, obtenue à partir de la résine de pin ou d'autres résineux. Cette substance a pour avantage de pouvoir être ajoutée à la pâte à papier avant la formation de la feuille : on gagne ainsi du temps en simplifiant les étapes de la finition. Mais pour précipiter la colophane sur les fibres, il est nécessaire d'ajouter une assez **grande quantité d'alun**, ce qui rend le papier **particulièrement acide et de mauvaise qualité**.

Ce procédé est très largement employé à partir du milieu du XIX^e siècle.

1.2.2. Les méthodes de production de la feuille

A la fin du XVIII^e siècle, les principales innovations ont été les suivantes :

- la naissance du papier vélin
- la machine à papier
- la calandre

1. Le papier



Complément : Naissance du papier vélin

1750 : en Angleterre, John Baskerville remplace les vergeures de la forme à papier par un **treillis métallique**. C'est la naissance du papier vélin, parfaitement **lisse et uniforme**, mais aussi **plus fragile**, car fait de fibres de cellulose plus raffinées, donc courtes.

1780 : le papier vélin se répand en France



Complément : La machine à papier

La machine à papier comprend plusieurs parties :



la partie humide avec la distribution uniforme de la pâte et la formation de la feuille

- les presses
- la sécherie
- l'enrouleuse, auxquelles peut s'ajouter éventuellement une presse encolleuse suivie d'une nouvelle section de sécherie
- d'une lisse ou d'une calandre.

Image 17 Machine à papier de l'usine Kruger Wayagamack (Trois-Rivières, Québec) : partie humide

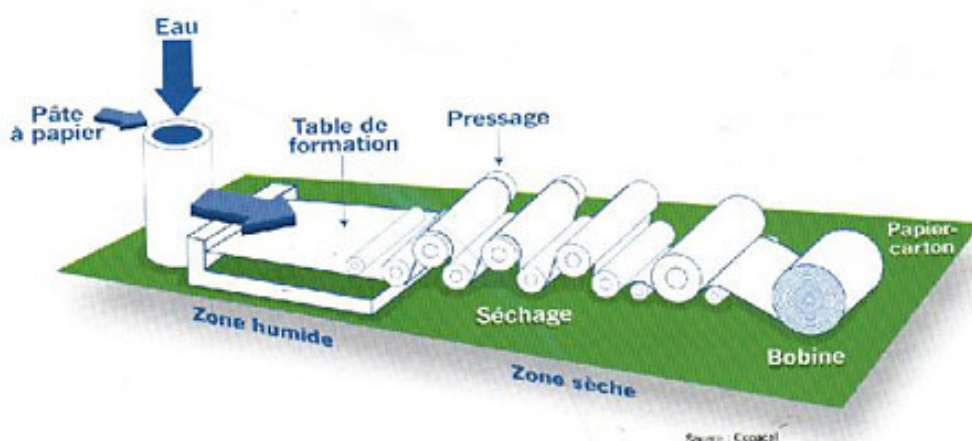


Image 18 Schéma d'une machine à papier

Il existe plusieurs types de machines :

- La machine à table plate, héritage très amélioré de la machine de Louis Nicolas Robert, est la plus courante

La pâte contenant les fibres et autres composants très dilués est déversée sur une toile sans fin constituée par des fils en bronze ou synthétiques. Ce treillis permet un premier écoulement de l'eau; l'enchevêtrement des fibres est favorisé par des vibrations. La vitesse de déplacement du treillis cause une orientation préférentielle des fibres qui est à l'origine du sens du papier

Puis l'eau est extraite le plus rapidement du papier par égouttage, succion et aspiration.

Un rouleau égoutteur ou filigraneur, en contact direct avec le papier, égalise la surface et peut imprimer un filigrane dans les fibres encore très humides.

Le papier passe ensuite dans la section des presses.



Image 19 Presses : voir la galerie

- La machine à formes rondes :

le papier se forme sur un treillis posé sur un cylindre qui tourne horizontalement, aux trois quarts immergé dans la pâte à papier. Les fibres se déposent sur le treillis à cause de la différence de pression à l'intérieur et à l'extérieur du cylindre.

Le papier est ensuite pressé contre un feutre qui le détache du cylindre.

Dans les machines de dernière génération, les fibres sont projetées sur la toile et l'égouttage est facilité

1. Le papier

caisses aspirantes.

- la machine à double toile :

la pâte à papier est envoyée sur deux toiles convergentes ; il se forme deux couches de papier qui s'unissent dès que les deux toiles se trouvent à la distance correspondant à l'épaisseur programmée du papier. Ce papier a le même aspect au recto et au verso.

Les machines à double toile fournissent actuellement la moitié environ du papier journal.



Image 20 Machine de l'usine Kruger (Trois-Rivières, Québec). Cette machine produit 205 000 tonnes de papier journal par an.



Complément : La calandre

Le lissage de la feuille après son encollage est mécanisé au moyen de cylindres formant ce qu'on appelle la calandre.



Image 21 Papier avant le passage dans la calandre (laminage), au moulin de Larroque (France, Dordogne)

A gauche, papier avant le passage dans la calandre (laminage), au moulin de Larroque (France, Dordogne).

A



Image 22 Passage en calandre au moulin du Verger (France, Charente)

droite, passage en calandre au moulin du Verger (France, Charente).

1.3. La production industrielle du papier

C'est au milieu du XIX^e siècle que se situe le début de la production industrielle.

Le XIX^e et le XX^e siècle sont marqués par

- le remplacement des textiles comme matière première par d'autres matériaux dont on peut extraire la cellulose

1. Le papier

- un accroissement considérable des rendements
- mais aussi une baisse considérable de la qualité du papier produit



Image 23 L'une des usines Kruger à Trois-Rivières (Québec).

1.3.1. La matière première

Ce qui caractérise surtout cette époque, c'est le **déclin du papier à base de fibres textiles** et l'utilisation systématique du **bois** comme matière première, ainsi que, plus tardivement des fibres de **récupération**.

1.3.1.1. Le bois

Les étapes de l'introduction du bois comme matière première dans la production du papier sont les suivantes :

- 1800 : introduction par Mathias Koops
- 1840 : mécanisation
- 1865-1870 : généralisation de l'utilisation du bois, essentiellement issu des arbres.

Le bois présente divers inconvénients qui ont profondément transformé les méthodes de production.

Les fibres de bois, contrairement aux fibres textiles qui sont composées de cellulose quasiment pure, sont très composites.

Entre autres composants, on y trouve :

- de la cellulose (mais pas plus de la moitié)
- des hémicelluloses
- de la lignine
- des résines
- des constituants minéraux
- des protéines

L'utilisation du bois a engendré la production de papiers qui supportent mal le vieillissement.



Image 24 Cliché A. Giovannini.

Les journaux sont caractéristiques de ce type de production de basse qualité.

C'est pourquoi ce sont des documents particulièrement fragiles et difficiles à conserver.

La présence de lignine notamment constitue un facteur de jaunissement et de vieillissement précoce du papier.

Les différents composants du bois forment une structure complexe et sont étroitement imbriqués les uns dans les autres, de sorte qu'il est difficile d'obtenir la séparation des fibres de cellulose et qu'il est nécessaire de les **purifier**.

Dès lors, la fabrication des pâtes à papier consiste à **extraire du bois ses fibres de cellulose** par des **moyens physiques et mécaniques**, combinés ou non avec l'action de **réactifs chimiques**.

1.3.1.2. Les fibres de récupération

Le papier recyclé provient de la récupération des vieux papiers (journaux, magazines, emballages, etc.) préalablement triés.



Image 25 Les fibres de récupération chez Manistique Papers, Inc.

Les fibres sont récupérées par défibrage du papier et mise en suspension dans l'eau. Elles doivent être purifiées et désencrées, puis blanchies par divers procédés chimiques.

Issus essentiellement de pâtes mécaniques, les papiers recyclés sont en général de qualité médiocre et **leur conservation à moyen et long terme est très difficile**.

Ci-contre, les fibres de récupération chez Manistique Papers, Inc., filiale du groupe Kruger au Michigan. Cette usine produit un papier recyclé à 100 % à partir d'encarts, de revues et autres catégories de papier.

1.3.2. La production de la pâte à papier

On distingue aujourd'hui trois grands types de pâte à papier :

- Les pâtes mécaniques

-----ordinaires

-----améliorées

- Les pâtes semi-chimiques
- Les pâtes chimiques

Les techniques de blanchiment et les autres composants du papier ont également une influence sur sa qualité et ses capacités à vieillir.



Complément : Les pâtes à papier mécaniques ordinaires

Les pâtes à papier mécaniques ont été les premières utilisées pour la production industrielle de papier. Au début du XIX^e siècle, elles sont faites surtout à partir de **bois résineux**, qui a des fibres plus longues et moins compactes que le bois de feuillus.

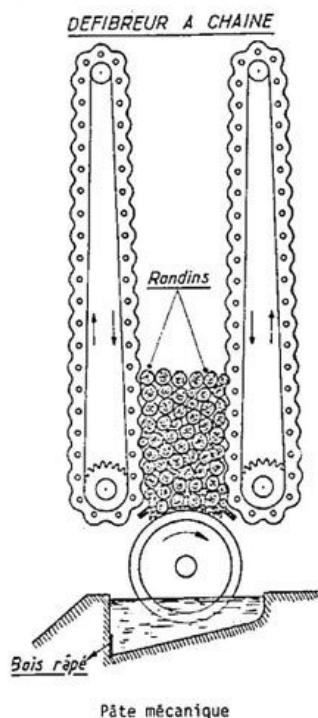


Image 26 Défibreur à chaîne.

Le défibrage se fait au moyen d'un **défibreur à chaînes** qui, sous une forme perfectionnée, existe encore aujourd'hui. Le bois est écorcé et les rondins sont pressés par des chaînes contre une meule en présence d'une grande quantité d'eau.

Cette méthode provoque la rupture d'une grande partie des fibres et donne une pâte à papier trop faible pour être utilisée à l'état pur: on y ajoute 15 à 20 pour cent de fibres de meilleure qualité pour produire du papier journal.

Dans sa version perfectionnée, cette machine travaille sous forte pression et avec une température de l'eau constamment maintenue près du point d'ébullition, ce qui permet d'obtenir une meilleure qualité des fibres.

Site de la Fédération française des Conservateurs-restaurateurs : <http://www.ffcr.fr>

Il existe aussi aujourd'hui des **défibreurs à presse ou à disques abrasifs** entre lesquels le bois réduit en copeaux est défibré.

Les procédés de production des pâtes mécaniques ont un fort rendement et donnent des pâtes à coût de revient très bas. Mais elles conservent en elles presque tous les composants du bois et sont donc de qualité médiocre. Elles sont utilisées pour les **papiers de bas de gamme et d'emballage**.

Ci-contre, le modèle de défibreur à presse mis au point par le Français Aristide Bergès en 1864. (<http://www.aab.asso.fr/index.htm>)



Image 27 Défibreur à presse mis au point par le Français Aristide Bergès



Complément : Les pâtes à papier mécaniques améliorées

Les pâtes mécaniques sont formées

- par des fibres courtes et rigides
- par des groupes de fibres (**bûchettes**)
- par une grande quantité de fibres détruites (**farine**)

Pour obtenir des fibres plus longues et plus souples, donc de meilleure qualité, et pour diminuer la quantité de "bûchettes" et de "farine", on a développé plusieurs types de traitements :

- Les **pâtes thermomécaniques** : le bois est traité à la vapeur avant le défibrage, ce qui assouplit le lien entre les fibres.
- Les **pâtes chimico-thermomécaniques** : avant le défibrage, le bois est imprégné légèrement de réactifs chimiques qui transforment partiellement la lignine.



Image 28 Pâtes à papier mécaniques

Les pâtes mécaniques, thermomécaniques ou chimico-thermomécaniques entrent, pour une part importante, dans la **production de papiers de qualité courante**.

Elles constituent l'essentiel de la composante fibreuse des papiers recyclés ordinaires. Le papier journal contient environ 80% de pâte mécanique.



Complément : Les pâtes à papier semi-chimiques

Ce procédé est un peu semblable à celui des pâtes chimico-thermomécaniques, mais l'imprégnation chimique des copeaux de bois est plus longue, donc plus forte et aboutit à une **délignification partielle**. Les fibres sont ensuite lavées et traitées dans un défibreur à disques.

Les pâtes à papier semi-chimiques ont des caractéristiques intermédiaires entre les pâtes mécaniques et les pâtes chimiques. **Plus solides** et avec des qualités physiques et chimiques meilleures que les premières, ces pâtes à papier contiennent encore **une assez grande quantité d'impuretés**.

Ce procédé est utilisé surtout pour la fabrication de papiers d'emballage.



Complément : Les pâtes à papier chimiques

Les pâtes à papier chimiques sont obtenues par un traitement du bois, préalablement réduit en copeaux, avec des **réactifs chimiques, pour éliminer la lignine et les autres impuretés** ; il en résulte aussi la solubilisation d'une part importante des hémicelluloses. Le rendement de ces méthodes est relativement faible.

Dès **1850**, en Angleterre, on cherche à extraire, par des moyens chimiques, les impuretés du bois, pour obtenir de la cellulose aussi pure que possible.

Dans les années **1880**, sont mis au point les deux procédés principaux utilisés encore aujourd'hui :

- **Le procédé au bisulfite (dit acide)** : les copeaux de bois sont traités dans une solution de bisulfite (de calcium ou d'autre élément chimique) à haute température et sous pression pendant huit à douze heures. La lignine et une partie des hémicelluloses se dissolvent dans cette **lessive**, par action de l'anhydride sulfureux qu'elle contient.

Suivant les conditions dans lesquelles ce traitement a lieu, ce réactif chimique peut avoir des conséquences plus ou moins négatives sur la qualité des fibres obtenues.

1. Le papier

La pâte obtenue contient une forte proportion de cellulose et encore des résidus de lignine et autres substances. Elle est claire et facile à blanchir. C'est pourquoi ce procédé a connu une grande diffusion et constitue encore aujourd'hui 10 pour cent des pâtes chimiques produites dans le monde.

- **Le procédé au sulfate ou Kraft (dit alcalin)** : les réactifs chimiques sont la **soude caustique** et le **sulfure de sodium**. Il donne une **cellulose** un peu moins pure que le procédé au bisulfite, mais **très résistante**. La couleur foncée de la pâte a d'abord fait privilégier ce procédé pour les papiers d'emballage (Kraft), mais les techniques de blanchiment moderne ont permis de pallier cet inconvénient. Aujourd'hui ce procédé est utilisé pour 90 pour cent des pâtes chimiques produites dans le monde.

1.3.2.1. Le blanchiment des pâtes à papier

Aujourd'hui, les pâtes issues de n'importe quel procédé peuvent être blanchies au moyen de différents **produits chimiques**.

Ci-contre, atelier de blanchiment (usine Kruger Wayagamack Inc., Trois-Rivières, Québec)



Image 29 Atelier de blanchiment (usine Kruger Wayagamack Inc., Trois-Rivières, Québec)

L'opération du blanchiment peut viser deux buts différents:

- soit une **amélioration de la blancheur** par transformation des parties colorées des molécules de lignine, sans élimination de celle-ci (traitement des pâtes mécaniques)
- soit une **purification des fibres** par élimination de la lignine, avec une amélioration de la qualité de la pâte et une diminution du rendement (traitement des pâtes chimiques)

Les **produits chlorés** continuent à être utilisés aujourd'hui, mais tendent à être remplacés par l'**eau oxygénée**.

La plupart des traitements de blanchiment font subir à la cellulose une certaine dégradation, de sorte que ses **qualités mécaniques** s'en trouvent **affaiblies**.

Outre les pâtes à papier, plusieurs composants entrent dans la production du papier: les charges minérales, les colles et les adjuvants contribuent de manière très importante à donner à un papier ses caractéristiques particulières.

1.3.2.2. Le raffinage de la pâte à papier

Cette opération permet de changer la structure et/ou la longueur des fibres, en fonction des qualités spécifiques du papier que l'on souhaite obtenir. En effet, **selon le type et le degré de raffinage**, on peut modifier les propriétés des fibres et donc la **qualité du papier**.

Les fibres, déjà isolées les unes des autres par les opérations de défibrage, peuvent être :

- Soit **écrasées** : la paroi primaire de la cellule végétale s'ouvre alors, libérant les fibrilles contenues dans la paroi secondaire qui gonflent au contact de l'eau.
- Soit **coupées** dans le sens de la longueur.

Le **raffinage** peut être :

- **maigre** : les fibres sont coupées et donnent un papier peu compact, souple, très absorbant s'il n'est pas encollé.
- **gras** : les fibres sont écrasées et les fibrilles libérées multiplient les possibilités de liaison entre les fibres, ce qui donne un papier plus compact, capable de retenir les charges.

Les piles hollandaises utilisées anciennement pour cette opération ont été remplacées par des **raffineurs coniques ou à disques**, permettant le travail en continu. Les fibres y sont écrasées entre une partie mobile et la paroi de la machine.

1.3.2.3. Les charges minérales

Certaines **charges à caractère alcalin** peuvent améliorer la stabilité chimique à long terme du papier. En revanche, les **charges acides** peuvent réduire à long terme la solidité mécanique du papier et ont une influence négative sur son vieillissement.

Aujourd'hui, les charges les plus utilisées sont le kaolin, le talc, le carbonate de calcium, le gypse et le dioxyde de titane. Les trois premières couvrent le 90% des charges utilisées actuellement.

1.3.2.4. Les agents de collage

Pour l'encollage, on utilise aujourd'hui encore des résines naturelles, auxquelles s'ajoutent d'autres substances naturelles ou de synthèse.

La **colophane** reste l'agent de collage le plus utilisé, toujours en combinaison avec de l'**alun**. Cette technique a un caractère **acide** et, de ce fait, l'utilisation de charges à caractère alcalin est exclue.

1. Le papier

Pour certains papiers, ont été développées des méthodes d'**encollage dans la masse à base de résines synthétiques** qui se lient chimiquement aux molécules de cellulose. Ces réactions sont facilitées par un **milieu alcalin**; Aujourd'hui ce type d'encollage est appliqué à une partie assez importante de la production des papiers pour l'écriture et l'impression.

1.3.2.5. Autres composants

Beaucoup d'autres composants (amidons, résines synthétiques, autres produits de synthèse) interviennent aujourd'hui dans la fabrication du papier en vue d'obtenir différents résultats :

- Agents de rétention, pour éviter la perte des fibres, charges et colles dans l'eau
- Adjuvants divers pour renforcer la cohérence du papier, faciliter la fixation des charges, améliorer la blancheur, éviter le développement des moisissures, etc.

1.3.3. La production de la feuille

La machine à papier de Louis Nicolas Robert avait déjà contribué à accélérer le processus de production de la feuille. Les **énormes machines** du XIX^e et du XX^e siècle vont permettre un **accroissement** bien plus **considérable** encore de la production.



Complément : La machine à papier

La machine à papier comprend plusieurs parties :



la partie humide avec la distribution uniforme de la pâte et la formation de la feuille

- les presses
- la sécherie
- l'enrouleuse, auxquelles peut s'ajouter éventuellement une presse encolleuse suivie d'une nouvelle section de sécherie
- d'une lisse ou d'une calandre.

Image 30 Machine à papier de l'usine Kruger Wayagamack (Trois-Rivières, Québec) : partie humide

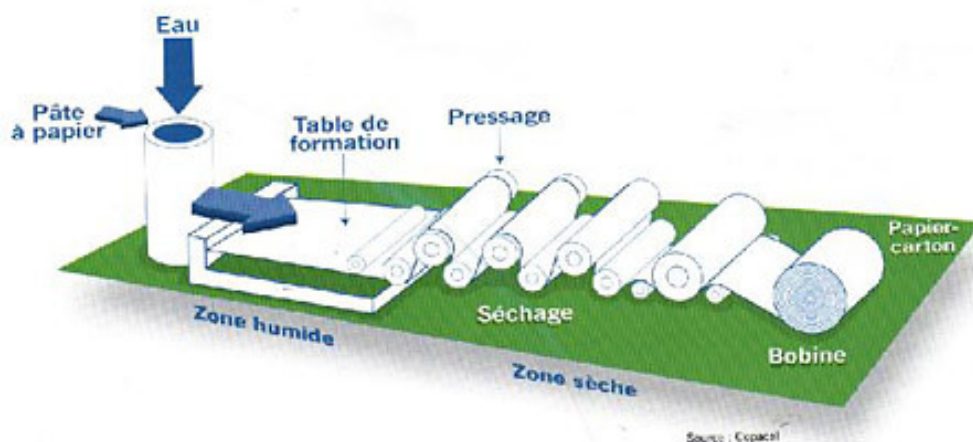


Image 31 Schéma d'une machine à papier

Il existe plusieurs types de machines :

- La machine à table plate, héritage très amélioré de la machine de Louis Nicolas Robert, est la plus courante

La pâte contenant les fibres et autres composants très dilués est déversée sur une toile sans fin constituée par des fils en bronze ou synthétiques. Ce treillis permet un premier écoulement de l'eau; l'enchevêtrement des fibres est favorisé par des vibrations. La vitesse de déplacement du treillis cause une orientation préférentielle des fibres qui est à l'origine du sens du papier

Puis l'eau est extraite le plus rapidement du papier par égouttage, succion et aspiration.

Un rouleau égoutteur ou filigraneur, en contact direct avec le papier, égalise la surface et peut imprimer un filigrane dans les fibres encore très humides.

Le papier passe ensuite dans la section des presses.

1. Le papier



Image 32 Presses : voir la galerie

- La machine à formes rondes :

le papier se forme sur un treillis posé sur un cylindre qui tourne horizontalement, aux trois quarts immergé dans la pâte à papier. Les fibres se déposent sur le treillis à cause de la différence de pression à l'intérieur et à l'extérieur du cylindre.

Le papier est ensuite pressé contre un feutre qui le détache du cylindre.

Dans les machines de dernière génération, les fibres sont projetées sur la toile et l'égouttage est facilité par des caisses aspirantes.

- la machine à double toile :

la pâte à papier est envoyée sur deux toiles convergentes ; il se forme deux couches de papier qui s'unissent dès que les deux toiles se trouvent à la distance correspondant à l'épaisseur programmée du papier. Ce papier a le même aspect au recto et au verso.

Les machines à double toile fournissent actuellement la moitié environ du papier journal.



Image 33 Machine de l'usine Kruger (Trois-Rivières, Québec). Cette machine produit 205 000 tonnes de papier journal par an.



Complément : Presses, sécherie et groupe de finition

- **Les presses servent à extraire l'eau :**

-----la feuille de papier soutenue par un feutre passe entre des rouleaux

-----La disposition de plusieurs presses successives permet d'augmenter les pressions exercées sur le papier, à mesure où son contenu en eau diminue.

-----La partie des presses se termine par une presse offset comportant deux rouleaux métalliques destinés à égaliser, autant que possible, les deux faces de la feuille.

- **La sécherie sert à éliminer l'eau restante**

La feuille passe sur des cylindres métalliques creux, chauffés à la vapeur d'eau. Des feutres ou toiles synthétiques maintiennent le papier sur les cylindres.



Image 34 Machine dans l'usine Kruger Wayagamack (Trois-Rivières, Québec)

Machine dans l'usine Kruger Wayagamack (Trois-Rivières, Québec) : partie sèche.

- **La presse encolleuse (Size Press)**

Une faible quantité de colle est déposée sur la surface du papier pour améliorer ses capacités recevoir écriture et impression et ses propriétés mécaniques.

- **La deuxième sécherie**

Le papier en sort avec une surface encore un peu irrégulière.

- **La section de finition comprend :**

-----Une **lisse** constituée de rouleaux en métal poli permet d'égaliser la surface de la feuille qui prend un aspect satiné : le papier ainsi traité est dit apprêté.

-----une **bobineuse** qui permet d'enrouler le papier en bobines



Machine dans l'usine Kruger Wayagamack (Trois-Rivières, Québec) : bobineuse.

Image 35 Machine dans l'usine Kruger Wayagamack (Trois-Rivières, Québec)

Les papiers qui sortent de la machine à papier sans autres traitements supplémentaires sont dits "**papiers nature**". Dans ces papiers, les surfaces côté toile et côté supérieur restent légèrement différentes.

Il est possible d'**améliorer l'aspect de la surface et les caractéristiques d'imprimabilité par des traitements de surface.**

Il s'agit :



Image 36 Supercalandre dans l'usine Kruger (Trois-Rivières, Québec).

- soit de traitements physiques : au moyen d'une calandre, formée de rouleaux alternés en fonte et en matière élastique, capable d'exercer une pression beaucoup plus élevée que la lisse. Le papier qui a passé dans une calandre est satiné, soit sur une de ses faces, soit sur les deux faces.

- soit d'un traitement chimique qui consiste à déposer sur une ou sur les deux faces du papier une fine couche superficielle de matières minérales pulvérisées (le plus souvent kaolin ou carbonate de calcium) fixée par un liant (amidons, résines synthétiques, etc.) : c'est ce qu'on appelle le **couchage**.
-----Le couchage est réalisé dans des machines dites **coucheuses**



Image 37 Coucheuse dans l'usine Kruger (Trois-Rivières, Québec).

- Il doit être à nouveau séché
- Il peut rester **mat** ou être rendu **satiné** ou **brillant** par le passage dans une calandre ou d'autres procédés.
- Le couchage n'améliore pas les caractéristiques mécaniques du papier : sa solidité dépend uniquement de la qualité de la pâte à papier.
- Le papier couché ne supporte pas d'être mouillé.**

1.4. Les papiers aujourd'hui

La tradition artisanale a perduré jusqu'à nos jours, mais elle ne produit plus qu'une part infime du papier mis en vente sur le marché.



Complément : Les papiers de production artisanale

Quelques dizaines de moulins à papier appliquent encore aujourd'hui les techniques traditionnelles. Appelez la galerie pour voir deux moulins qui perpétuent la fabrication traditionnelle du papier.



Image 38 Moulins à papier - voir la galerie

Bien que le papier y soit produit à partir de fibres végétales, sa qualité n'est pas nécessairement optimale; elle dépend en effet des matières premières (chiffons et eau) et des procédés de fabrication.

D'autre part, l'encollage de surface de ces papiers n'est pas toujours neutre et l'utilisation de produits nuisibles à la conservation n'est pas exclue.

L'essentiel de la production papetière est donc aujourd'hui industrielle.

L'industrie du papier produit une infinité de sortes de papiers et de cartons pour toutes sortes d'usages et de qualités très diverses. Il n'existe pas de classement internationalement appliqué pour distinguer les différentes sortes de papier.

Le consommateur **dispose de très peu de renseignements sur la qualité du papier** . Dans certains pays (Suisse, Etats-Unis), la composition des fibres (textiles ou végétales) et leurs proportions respectives sont généralement indiquées. Mais rien ne renseigne sur les procédés de fabrication et les autres composants du papier (agents de blanchiment, charges minérales, type de collage, colorants ou azurants optiques, pigments de couchage, liants, additifs divers, etc.) qui peuvent pourtant avoir des effets non négligeables sur la conservation à long terme.

Des normes particulières ont été élaborées pour définir les caractéristiques minimales des **papiers** dits "**permanents** " ou de "**longue conservation** ". Un papier permanent doit répondre à **quatre exigences minimales**, reprises par toutes les normes à ce sujet:

1. Le papier

- Il doit avoir un pH légèrement alcalin, soit d'environ 7,5 à 9,5 (cette exigence exclut l'utilisation de méthodes de collage acides)
- Il doit contenir une réserve alcaline (carbonate de calcium ou magnésium, dans des proportions de l'ordre de 2% à 3%).
- Il doit posséder une bonne résistance mécanique initiale.

En décembre 1998, est parue la **norme NF EN ISO 9706** qui précise les prescription pour la permanence des papiers pour documents.

Les archivistes devraient jouer un rôle de premier plan pour inciter :

- **les fabricants** à donner une information plus complète sur les produits de l'industrie papetière
- **les organisations dans lesquelles ils travaillent à utiliser des papiers permanents pour tous les documents fondamentaux.**

1.5. Structure physico-chimique du papier

Le papier est principalement composé de cellulose.

Il peut aussi contenir, en quantités variables, des impuretés dérivées du bois ainsi que des charges minérales, des colles, des colorants et divers additifs.



Complément : La cellulose

La cellulose est le composant principal des parois cellulaires des **végétaux**. On la trouve à l'état pratiquement pur dans le coton, le lin et le chanvre.

Les caractéristiques de la molécule de la cellulose rendent possible la fabrication du papier et lui confèrent ses caractéristiques physiques particulières.

La connaissance des principales caractéristiques de cette molécule nous permet de mieux comprendre la nature du papier et les processus de son altération.

- La cellulose est une substance stable, peu sensible à l'eau, aux acides et aux alcalis dilués.
- C'est une **longue chaîne linéaire** formée par association d'éléments identiques; c'est ce qu'on appelle un **polymère**.
 - L'élément de base (**monomère**) de cette longue chaîne est formé par l'association de deux molécules de glucose, appelée **cellobiose**.
 - La molécule de glucose ($C_6H_{12}O_6$) a six atomes de carbone. Dans le glucose, le carbone est présent sous forme cyclique (cinq atomes de carbones (C)et un atome d'oxygène (O) forment un cycle hexagonal.
 - Les monomères s'associent entre eux en perdant une molécule d'eau (H_2O) et forment ainsi une chaîne de structures hexagonales : c'est ce qu'on appelle la polymérisation, c'est-à-dire la formation du polymère.
- La longueur de la chaîne varie selon l'origine de la cellulose et a une grande importance pour sa qualité et sa résistance au vieillissement. Le nombre des monomères associés dans une chaîne de cellulose est exprimé généralement par le **degré moyen de polymérisation (DP)**. Une cellulose dont le DP est inférieur à 300 perd toute solidité.

Le tableau ci-dessous permet de juger de la qualité de la cellulose selon le matériau d'origine :

Matériau	DP
Coton	7000 à 15000
Bois	1000 à 3000

Le DP est souvent modifié par les traitements pratiqués dans l'industrie papetière, en particulier ceux qui interviennent dans la fabrication du papier à base de cellulose issue du bois.

- La propriété la plus remarquable des molécules de cellulose est leur capacité de former entre elles des liens particuliers qui les unissent sans les altérer: **les ponts hydrogène**. Le pont hydrogène se forme lorsqu'un atome d'hydrogène (H) se trouve placé entre deux atomes d'oxygène (O) et qu'il est lié de façon covalente à l'un d'eux, par mise en commun de deux électrons : l'hydrogène devient alors légèrement positif et altère l'autre oxygène.

Dans la cellulose, il y a de multiples possibilités de formation de ponts hydrogène du fait de la présence d'un grand nombre de groupes OH ; ces liens peuvent se former entre les molécules, mais aussi à l'intérieur même de la molécule, ce qui augmente sa stabilité. **Les liens entre les molécules permettent leur association en faisceaux pour former des microfibrilles, des fibres et, enfin, du papier.**

Le papier est donc formé par simple association de fibres de cellulose en présence d'eau. La solidité du papier est déterminée par la qualité des fibres et par la liaison entre elles.

Les chaînes moléculaires de cellulose s'unissent donc en faisceaux, liées par des ponts hydrogène. L'organisation de ces faisceaux de molécules peut prendre deux formes :

- **Les parties cristallines**, qui sont ordonnées régulièrement. le nombre de liaisons hydrogène 22

1. Le papier

maximal. Ce sont elles qui **donnent au papier sa dureté et sa relative rigidité**.

- **Les parties amorphes**, plus désordonnées, confèrent au papier **son élasticité et sa souplesse**. Mais elles sont aussi plus **vulnérables et réactives à des agents extérieurs**. Elles forment un **terrain favorable aux altérations de la cellulose**, qui aboutissent à la dégradation de la qualité du papier.

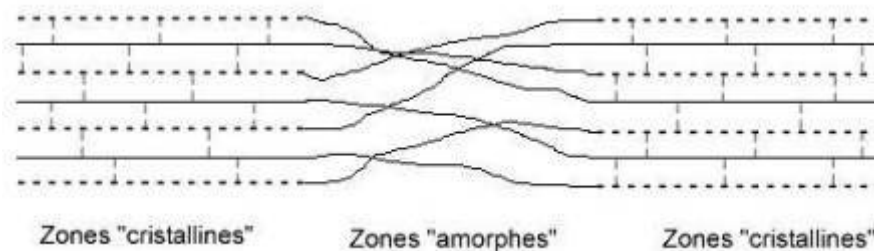


Image 39 Zones amorphes



Complément : Les hémicelluloses

Les hémicelluloses, qui se trouvent avec la cellulose dans le bois, ont les caractéristiques suivantes :

- une structure semblable à celle de la cellulose, mais **constituée de divers sucres**, certains avec cinq atomes de carbone, d'autres avec six atomes de carbone.
- Les **chaînes sont plus courtes** que celles de la cellulose.
- Ces chaînes peuvent être soit linéaires, soit ramifiées.
- Les hémicelluloses se trouvent
 - soit associées à la lignine dans la lamelle mitoyenne des fibres de bois
 - soit dans la paroi secondaire des fibres
- Elles peuvent être plus ou moins fortement liées à la cellulose et la lignine, de sorte **qu'elles restent souvent associées à la cellulose, même après les opérations de blanchiment**.
- Elles sont **chimiquement moins stables** que la cellulose et sont partiellement solubles dans les solutions alcalines. **Elles représentent un facteur d'instabilité du papier**.



Complément : Les lignines

La lignine est le principal constituant de la lamelle mitoyenne qui se trouve entre les fibres végétales. Cette lamelle soude les fibres entre elles et leur donne leur rigidité. C'est pourquoi on dit que c'est un **incrustant**.

La lignine a une structure chimique très complexe et très différente de celle de la cellulose; sa composition diffère selon les espèces végétales

Les lignines sont insolubles dans l'eau, mais partiellement solubles dans des solutions alcalines. C'est grâce à cela que l'on peut par des traitements chimiques appropriés libérer les fibres cellulosiques des incrustants pour fabriquer la pâte à papier.

Dans le papier, les lignines constituent une impureté indésirable et leur présence est un facteur de vieillissement rapide.

2. Le parchemin



Image 40 Le parchemin

Le parchemin est **une peau d'animal non tannée**, le plus souvent de veau, de chèvre ou de mouton traitée pour servir de **support à l'écriture**.

2.1. Historique du parchemin

La tradition veut que l'invention du parchemin date du II^e siècle avant J.-C., peut-être sous le règne d'Eumène II (197-159 av. J.-C.), roi de Pergame -actuellement en Turquie - , protecteur des arts et des lettres et fondateur de la bibliothèque de Pergame, dont le parchemin tire son nom (pergamena). En fait son existence semble beaucoup plus ancienne, mais pendant longtemps on ne le différencia guère du cuir. Son expansion se trouve favorisée par des difficultés d'approvisionnement en papyrus . On a donc cherché à améliorer cette sorte de cuir pour le rendre propre à l'écriture.

Le parchemin devient, en Occident, support courant de l'écriture au VIII^e siècle, alors que les importations de papyrus d'Égypte se font plus rares. À partir de cette période et **jusqu'au XIV^e siècle**, en Occident, les actes officiels sont, en quasi-totalité, rédigés sur des parchemins. C'est aussi le matériau utilisé pour copier les manuscrits dans les monastères et les universités.

- Il est utilisé sous différentes formes (illustrations) :
- Le morceau simple de parchemin, de tailles et de formes très diverses
- Le codex : ensemble de morceaux de parchemin reliés sous la forme d'un livre
- Le rouleau ou " rôle " : morceaux de parchemin cousus bout à bout et roulés.

Cependant, la difficulté de sa fabrication en fait un produit de luxe. Aussi, par souci d'économie, les parchemins sont-ils parfois réutilisés après grattage et ponçage ; on les appelle alors des **palimpsestes**. Les textes les plus anciens, ainsi effacés pour réemploi du parchemin, peuvent être lus grâce à des traitements chimiques et optiques.

A partir du XV^e siècle, l'usage du parchemin, concurrencé par le papier dont la fabrication se développe rapidement, devient exceptionnel : il est réservé à des actes solennels. Le développement de l'imprimerie participe à cette marginalisation du parchemin.

Il continue néanmoins à être utilisé jusqu'au XVII^e siècle pour cet usage et pour les actes à forte valeur légale : ainsi l'Encyclopédie de Diderot et d'Alembert signale que toutes les expéditions de justice doivent se faire sur parchemin et indique les différents formats à respecter selon les types d'actes.

De nos jours, on ne l'utilise plus que pour certains documents officiels, pour la Torah et pour des activités artistiques.

2.2. Les caractéristiques du parchemin

Pour bien comprendre les caractéristiques du parchemin et les facteurs de détérioration susceptibles de l'affecter, il faut avoir quelques connaissances de base sur sa fabrication et sur la structure de la peau.

2.2.1. La structure de la peau

La structure de la peau est complexe. De l'extérieur à l'intérieur du corps, elle est composée des **trois couches principales** suivantes :

- **L'épiderme**
- **Le derme**
- **L'hypoderme**

L'épiderme est formé par plusieurs couches superposées de cellules :

- Au-dessus, la **couche cornée** où l'on trouve des cellules mortes
- En-dessous, **plusieurs couches de cellules vivantes**, particulièrement sensibles à l'action d'agents chimiques et biochimiques, notamment ceux utilisés par les tanneurs et les parcheminiers.

Le **derme** est caractérisé par un réseau dense de fibres formé essentiellement par deux protéines, le **collagène** et, en moindre proportion, l'**élastine**. Il est constitué de deux couches :

- Au-dessus, la **couche papillaire** : les fibres de collagène y sont organisées en faisceaux parallèles à la surface de la peau ; la surface de la couche papillaire, structurée par les follicules pileux qui accueillent les poils dont la disposition est caractéristique pour chaque espèce animale, forme le " grain " ou la " fleur " de la peau.
- Puis la **couche réticulaire**, où le tissu fibreux est plus compact et où les fibres de collagènes sont organisées en faisceaux longs et ondulés disposés dans toutes les directions. Cette disposition donne à la peau sa résistance mécanique.

Entre les faisceaux fibreux du derme se trouve une substance liquide, visqueuse, appelée **substance basale** qui remplit tous les interstices et forme la couche qui sépare le derme de l'épiderme. Elle contient notamment de l'eau et intervient dans les caractéristiques de souplesse ou de rigidité de la peau.

L'hypoderme est formé par un réseau moins dense de fibres, associé à des cellules de graisses et à des fibres musculaires qui permettent les mouvements volontaires de la peau.

La molécule du collagène, principale protéine de la peau, s'organise dans l'espace en forme d'hélice maintenue par des liaisons hydrogènes. Cette structure en hélices explique ses propriétés d'élasticité et sa capacité de gonflement.

Cette molécule a deux propriétés particulières :

- A une température d'environ 60°C, elle se transforme de façon irréversible en gélatine, souvent utilisée comme colle, d'où son nom.
- Sous l'effet d'acides, d'alcalis ou de certains sels, elle peut gonfler jusqu'à sa déstructuration ; c'est pourquoi le caractère hydrophile de la peau peut augmenter dans un milieu fortement acide ou alcalin.

Le collagène constitue aussi un bon terrain de culture pour de nombreux micro-organismes.

2.2.2. La fabrication du parchemin

Le parcheminage consiste à rendre la peau d'un animal propre à l'écriture. Les différentes opérations permettent d'éliminer les poils et d'autres substances indésirables pour ne conserver que le collagène, l'élastine et une partie de la substance basale.

La première partie du traitement, que l'on appelle **le travail de rivière**, est la même que celle qui prépare les peaux au tannage pour en faire du cuir. Elle consiste à éliminer les poils, l'épiderme et l'hypoderme pour ne conserver que le derme prêt à recevoir les traitements suivants.

Les étapes suivantes sont **l'étirage, le séchage et le finissage de la surface** qui permettent d'obtenir une peau opaque apte à recevoir l'écriture.

2.2.3. Le travail de rivière

Il comporte les étapes suivantes :

- **Le lavage** à l'eau courante, qu'on appelle reverdissage
- **L'épilage et l'écharnage**, pour enlever l'épiderme avec les poils d'un côté, l'hypoderme avec les restes de chair et de graisse de l'autre. Ces opérations nécessitent un assouplissement préalable du lien entre le derme et l'épiderme, qui s'obtient par un **traitement au lait de chaux**. L'épilage consiste ensuite à racler la peau posée sur une surface arrondie. Il arrive que la peau soit tendue sur un châssis avec un couteau peu tranchant. L'écharnage se fait sur le même support à l'aide d'un couteau souple bien aiguisé. Il permet aussi d'égaliser l'épaisseur de la peau.

La durée du traitement au lait de chaux est très importante pour les opérations suivantes : un traitement trop court entraîne des difficultés lors de l'étirage de la peau ; trop long, il affaiblit la peau qui supportera mal la tension au séchage.



Complément : L'étirage, le séchage et le finissage de surface

- **L'étirage et le séchage** : la peau, préalablement lavée à l'eau claire, est tendue sur un cadre et sèche sous

peau : les réseaux de fibres se réorganisent de préférence parallèlement à la surface de la peau, tandis que les restes de substance basale agissent comme collant interne et maintiennent la stabilité de cette structure après le démontage du cadre quand le parchemin est sec. Les changements opérés par la mise sous tension sont ainsi fixés par le séchage. Lors du séchage sous tension, la peau devient opaque : la régularité de la tension est essentielle pour obtenir une opacité uniforme du parchemin, car les parties mal tendues deviennent dures et transparente.

- **Le finissage de la surface** : il consiste à égaliser la surface et son épaisseur en travaillant le parchemin tendu, sur le côté chair, avec un couteau en forme de demi-lune. Le ponçage après légère réhumidification, permet encore d'améliorer l'aspect et l'aptitude à recevoir l'écriture. D'autres traitements de la surface peuvent s'ajouter pour faciliter encore l'écriture, avec de l'alun, des graisses ou un encollage.

2.2.4. Les caractéristiques d'un parchemin

Dans le détail, **les caractéristiques d'un parchemin** peuvent varier selon la provenance de la peau utilisée — race, sexe, âge, provenance, état de santé et alimentation de l'animal, saison de l'abattage — et les techniques utilisées pour la transformation en parchemin.

Du point de vue physique, le parchemin est translucide, semi-souple, peu élastique, peu extensible, difficilement formable.

Du point de vue chimique, c'est une peau brute, non tannée, ayant subi un traitement alcalin et un séchage sous tension.

La structure fibreuse du parchemin n'est pas uniforme, car les fibres ne sont pas disposées de la même façon selon leur localisation sur la peau : la structure fibreuse est lâche sur les flancs, alors qu'elle est très compacte sur l'échine et au collet.

Le parchemin est très sensible

- à une forte chaleur
- à l'action des micro-organismes
- aux écarts hygrométriques

Dans des conditions de conservation correctes, le parchemin montre une stabilité remarquable.

3. Autres matériaux

Beaucoup d'autres matériaux sont susceptibles de faire partie des documents d'archives, pour beaucoup, en moindre quantité toutefois que le papier et le parchemin. Nous n'en donnerons ici qu'un bref aperçu sous forme de listes non exhaustives.

3.1. Liste de matériaux

Les encres

- Font partie du document d'archives par nature et posent des problèmes particulier de conservation, soit par leur détérioration propre, soit par la détérioration du support qu'elles peuvent engendrer.
- Leur composition joue un rôle essentiel dans leur stabilité et leur plus ou moins grande agressivité par rapport au support. Le problème des encres métallo-galliques, notamment, est étudié dans un chapitre spécial de la section 3.

Les colles

- Elles entrent systématiquement dans la confection des reliures.
- Elles peuvent aussi intervenir dans des montages anciens de gravures et photographies sur des fonds, dans des albums, etc.

Le cuir

- Reliures des registres et ouvrages

Le cuir est une peau tannée : cela signifie qu'elle a subi des traitements supplémentaires après le travail de rivière évoqué dans la fabrication du parchemin (lien vers la page).

Ces traitements essentiellement chimiques peuvent, dans certaines conditions, **rendre le cuir plus vulnérable que le parchemin**.



Complément : Les traitements du cuir

Les traitements du cuir sont :

- Le déchaulage et le confitage qui préparent la peau à recevoir le tannage :
 - Le déchaulage consiste à débarrasser la peau de tout reste de chaux : il se fait avec des acides.
 - Le confitage consiste à tremper la peau dans des infusions végétales ou animales qui permettent le développement de micro-organismes dont les enzymes attaquent les restes de poils et la substance basale qui protège encore les fibres de collagène, afin de les rendre prêtes à se lier aux tanins.
 - le tannage lui-même : il a pour but d'obtenir une combinaison stable entre les fibres de collagène et les tanins ; la peau devient plus résistante aux températures élevées, aux réactifs chimiques et à la dégradation micro-biologique, mais perd une partie de sa souplesse ; traditionnellement il se fait avec des tanins d'origine végétale obtenus à partir de l'écorce de certains arbres, ou avec de l'alun, minéral qui a largement été utilisé à partir du XVI^e siècle pour les cuirs de reliure à bon marché.
- Des traitements de finissage :
 - Le graissage, consistant à introduire dans le cuir humide des graisses pour le rendre plus souple.
 - La teinture
 - Le traitement de surface : égalisation du côté chair, traitements divers du côté fleur.

Le bois

- Essentiellement dans les reliures les plus anciennes

Les cires et résines naturelles

- Sceaux et cachets

Les textiles

- reliure de toile ou de velours
- tranche-file et signet des reliures
- lacs de soie des sceaux pendants

3. Autres matériaux

- échantillons de tissus dans des catalogues commerciaux et industriels
- souvenirs collés dans les carnets intimes (bonnets de bébé, tulle de voile de mariée, etc.)
- doublure des plans entoilés
- toiles à dessiner

Les métaux

- fermoirs, coins et décors des reliures anciennes, le plus souvent médiévales
- bulles de plomb
- médailles et décorations

Ne sont envisagés ici que les éléments métalliques qu'il convient de conserver, car ils font partie intégrante des documents. Tous les autres éléments, tels qu'épingles, agrafes, trombones, coins pour lettres, attaches parisiennes, boucles des sangles, doivent être éliminés et remplacés par des matériaux de conditionnement adéquats.

4. Les supports photographiques

Qu'elles soient sur papier ou sur d'autres supports, **les photographies sont sujettes à des altérations très spécifiques** et présentent des problèmes particuliers de conservation.

La diversité des supports et surtout des procédés de fixation de l'image depuis la naissance de la photographie impose un bref panorama historique des techniques utilisées les plus importantes et les altérations qui menacent les documents issus de ces procédés.

Le mot **photographie** vient des mots grecs « *phos* » (lumière) et « *graphein* » (écrire) : tous les procédés photographiques utilisent la lumière et le principe de la **chambre noire** (camera obscura).

L'invention de la camera obscura, décrite par Léonard de Vinci, remonte au XVI^e siècle. C'était une pièce dans laquelle des spectateurs pouvaient voir des images d'objets situés à l'extérieur projetés sur un mur. La lumière passait par une ouverture de la taille d'un trou d'épingle. Cette installation fut transformée en une boîte portable avec un orifice, une lentille (objectif) et un écran pour visionner. C'est le principe même de l'appareil photographique.

La première photographie a été créée par **Nicéphore Niepce** entre 1816 et 1822 selon les sources. C'était une image positive unique réalisée par un procédé héliographique, c'est-à-dire utilisant la lumière du soleil.

Dès lors vont se développer presque simultanément deux familles de techniques :

- Celles qui produisent directement une **image positive unique**
- Celles qui produisent un **négatif** unique à partir duquel on peut tirer des **images positives** identiques ou modifiées.

4.1. Les images positives uniques

Outre leur mode de production, elles ont toutes en commun leur présentation : ce sont des images « **enchâssées** », c'est-à-dire la plupart du temps recouvertes d'un passe-partout en papier, en carton ou en laiton, protégées par une plaque de verre et serties dans un écrin. En Europe, cet écrin prend souvent la forme d'un cadre noir.

Le principal procédé utilisé a été le **daguerréotype**, premier en date et qui a connu pendant longtemps un vif succès. D'autres procédés ont été mis en œuvre par la suite successivement ou en concurrence.

4.1.1. Le daguerréotype

En 1829, Nicéphore Niepce s'associe avec Louis-Jacques-Mandé Daguerre. Niepce étant mort en 1833, Daguerre poursuit seul ses recherches et parvient en 1837 à former le premier daguerréotype. En **1839** le brevet d'invention est racheté à Daguerre par l'Etat français et mis à la disposition de tous.

Le daguerréotype est une image positive unique, impressionnée par la lumière sur une plaque de cuivre argenté. La fine couche d'argent polie donne à la plaque l'aspect d'un miroir. L'image est faite de particules très fines d'aspect blanchâtres, qui forment les parties claires de l'image en masquant plus ou moins la couche d'argent. Selon l'angle d'observation, un daguerréotype peut apparaître négatif ou positif. L'image est d'une grande précision.

Le daguerréotype a été très utilisé pour faire des portraits de 1839 à 1860.

4.1.1.1. Les étapes de production

La production d'un daguerréotype fait appel aux mêmes étapes que l'on va retrouver pour tous les procédés photographiques traditionnels :

- **La préparation du support**

Très rapidement, des plaques argentées furent disponibles dans le commerce. La qualité du daguerréotype était étroitement liée à celle du polissage de la plaque. La couche d'argent était rendue photosensible par exposition à des vapeurs d'iode qui entraînait la formation d'iodure d'argent. On essaya d'améliorer le procédé en alternant les vapeurs de brome avec les vapeurs d'iode pour accentuer la sensibilité de la plaque et réduire le temps de pose.

- **L'exposition à la lumière**

La plaque était placée dans l'appareil (chambre obscure) pour être exposée à la lumière pendant un temps de pose qui pouvait varier de quelques minutes à plus d'une heure.

- **Le développement**

4. Les supports photographiques

condensaient aux endroits impressionnés par la lumière et formaient un dépôt blanc, amalgame de mercure et d'argent.

A partir de , on remplaça le mercure par une l'exposition à certaines longueurs d'onde, appelées « rayons continuaturs ».

- **Le fixage**

L'opération consiste à éliminer l'iodure d'argent non insolé. A l'origine on trempait la plaque dans une solution chaude de sel de cuisine (chlorure de sodium) qui fut remplacée par la suite par de l'hyposulfite, plus efficace et encore utilisé de nos jours.

A partir de 1840, on pratiqua aussi le fixage avec une solution de chlorure d'or qui accentuait les contrastes et conférait à l'image une tonalité plus chaude.

On pouvait enfin, si on le souhaitait, procéder au coloriage au moyen de pigments dispersés dans une résine naturelle, de type gomme arabique.

4.1.1.2. Les altérations du daguerréotype

Les dégradations du daguerréotype sont très spécifiques à ce procédé et sont de deux types :

- Les **attaques chimiques** liées aux facteurs externes : pollution, humidité
- Les dégradations inhérentes à la structure de la plaque ou à de **mauvaises manipulations**.

Les dégradations peuvent se traduire par les effets suivants :

- Rayures sur l'image et même effacement, liés au moindre frottement
- Détachement de la couche d'argent
- Oxydation du support en cuivre : tâches vertes
- Attaque de l'image par des gouttelettes alcalines provenant de la décomposition de certains verres de protection sous l'effet de l'humidité
- Développement de micro-organismes en cas de perte d'hermétisme du montage et de condensation
- Ternissure de l'argent, sous l'effet notamment des gaz polluants : un voile coloré apparaît et se développe des bords de l'image vers le centre.

4.1.2. Les autres procédés

D'autres procédés ont été utilisés pour obtenir des images uniques, soit sur d'autres supports, avec par exemple le premier positif sur papier, soit avec d'autres produits de sensibilisation.

Les principaux procédés ont été :

- L'ambrotype
- Le pannotype
- Le ferrotype

4.1.2.1. Le premier positif sur papier

En 1839, **Hippolyte Bayard** met au point un procédé qui lui permet d'obtenir directement des **images positives sur papier**. Un papier recouvert de chlorure d'argent est exposé à la lumière dans une chambre noire après sensibilisation préalable dans de l'iodure d'argent. Le temps de pose varie entre trente minutes et deux heures. Cette technique prometteuse n'a pourtant pas eu le succès qu'elle méritait à cette époque à cause de la concurrence du daguerréotype.

4.1.2.2. L'ambrotype

L'ambrotype est un cliché sur verre au collodion. C'est en fait une image négative, mais qui, après un traitement chimique particulier et placée sur un fond noir apparaît en positif.

Le collodion est un produit contenant des chlorures et des iodures, obtenu par dissolution du nitrate de cellulose dans un mélange d'éther et d'alcool.

La technique est la suivante :

- **Préparation** de la plaque de verre : on répand sur toute la surface du collodion, puis on la trempe dans une solution de nitrate d'argent
- **Exposition** : la plaque est mise encore humide, parce que plus sensible, dans l'appareil photographique.
- **Développement** dans un révélateur à l'acide nitrique ou au chlorure de mercure, fixage et lavage. On obtient un négatif aux reflets grisâtres. Eventuellement la plaque est vernie.
- **Noircissement du fond** : soit le verre est enduit au dos d'une laque noire, soit il est placé sur un fonds de velours noir.
- **Montage** dans un cadre fermé comme le daguerréotype.

Les altérations peuvent être les suivantes :

- Décomposition du fond noir qui se traduit par l'apparition de taches blanches là où le fond est endommagé
- Réticulation du collodion et du vernis : boursofflures qui s'écaillent.
- Affaiblissement de l'image par oxydation liée à un carton de mauvaise qualité utilisé pour le moi

4. Les supports photographiques

apparition d'un voile noir-bleuté, plus particulièrement dans les parties en contact avec le carton.

4.1.2.3. Le pannotype et le ferrotype

Ces deux procédés sont des dérivés de l'ambrotype sur des supports moins fragiles que le verre.

Le **pannotype**, mis au point en 1853, est obtenu par transfert de la couche de **collodion** sur du tissu ou de la toile cirée teintés en noir.

Dans le **ferrotype**, né en 1856, on a remplacé le verre par une plaque de fer noircie enduite de collodion.

Ces procédés rapides et bon marché furent très utilisés pour les portraits par les forains.

Plus tard le collodion fut remplacé par de la **gélatine** et sous cette forme, le procédé survivra jusque dans les années 1950.

Les altérations des pannotypes et ferrotypes sont les suivantes :

- Affaiblissement de l'image
- Altérations des supports : durcissement de la toile cirée devenue cassante, rouille de la plaque de fer
- Rayure des clichés non protégés par un verre.

4.2. Les négatifs

Parallèlement à la production d'images positives uniques vont se développer d'autres techniques passant par la création d'un **négatif**. Peu utilisées au début, ces techniques vont connaître un succès croissant, car elles offrent la possibilité de produire en nombre des tirages positifs à partir d'une seule prise de vue.

Les premiers essais se firent sur papier (**calotype**), puis sur verre. La production de **négatifs gélatino-argentiques** fut par la suite déterminante pour l'évolution de la photographie.

4.2.1. Le calotype

L'Anglais **Henry Fox Talbot** est le premier à mettre au point un procédé négatif-positif en **1841**, après de longues recherches sur la photosensibilité du chlorure d'argent. Le négatif et le positif s'obtiennent sur **papier salé** : le papier est sensibilisé par trempages successifs dans une solution d'eau salée, puis dans une solution de nitrate d'argent.

La fabrication du négatif, appelé « **calotype** » se fait de la façon suivante :

- **Exposition courte** du papier salé dans l'appareil photographique : une image invisible à l'œil nu se forme.
- **Développement** dans une solution appelée **révélateur** qui fait apparaître l'**image négative**.

A partir de ce négatif, on peut désormais obtenir autant de **tirages positifs** que l'on veut par noircissement direct.

Pour améliorer la transparence on prit l'habitude de cirer ou de huiler le papier.

Les calotypes sont rares et souvent en mauvais état. Les principales altérations sont :

- les marques de pliures
- les taches jaune-marron et la perte de contraste liés aux produits résiduels des traitements chimiques
- les taches noires résultant d'un transfert du nitrate d'argent lors de tirages sur un papier salé pas totalement sec.

4.2.2. Les négatifs sur verre

Malgré sa fragilité, le verre reste un support longtemps utilisé pour la fabrication de négatifs.

Deux produits ont été employés pour fabriquer la couche photosensible :

- l'**albumine**
- le **collodion**, humide ou sec

4.2.2.1. Les négatifs à l'albumine

Ce procédé, appelé **niepceotypie** ou **niecotypie**, a été utilisé de 1847 à 1860.

Les étapes de production sont les suivantes :

- préparation de la plaque de verre recouverte d'un mélange d'**albumine** contenant de l'iode et du bromure de potassium.
- **Séchage** de la plaque
- **Sensibilisation** dans une solution d'acide acétique et de **nitrate d'argent**
- **Exposition** longue
- **Développement** par applications successives d'une solution d'acide gallique et d'une solution de nitrate d'argent.

4. Les supports photographiques

Ces négatifs sont difficiles à distinguer des clichés verre au collodion et on connaît mal leur vieillissement.

4.2.2.2. Les négatifs au collodion

Deux techniques ont été parallèlement utilisées :

- **le collodion humide**, de 1851 à 1885
- **le collodion sec**, de 1855 à 1885

Le procédé au collodion humide permet, en raison de sa grande sensibilité, de réduire considérablement le temps de pose, mais il faut développer la plaque immédiatement après l'exposition, avant que le collodion ne sèche. Il était donc surtout adapté au travail en studio et fut employé jusqu'en 1900 en raison de son coût modique et de sa rapidité d'emploi.

La production suivant les étapes suivantes :

- Recouvrement de la plaque de vers nettoyée avec un couche de **collodion i odoré et bromuré**
- **Sensibilisation au nitrate d'argent**
- **Exposition**
- **Développement**
- **Fixage** à l'hyposulfite ou au cyanure et **lavage**
- **Vernissage** et retouche

De nombreuses formules ont eu pour but principal de permettre, avec un même rendu, une utilisation moins contraignante dans le temps grâce à l'introduction de substances maintenant une certaine humidité à l'intérieur du collodion. C'est ce qu'on appelle le procédé au **collodion sec**.

Parmi ces procédés, il en est un qui préfigure les procédés industriels : en 1867, une firme anglaise commercialise des plaques recouvertes en une seule opération d'une émulsion de collodion et de sels sensibles.

Les négatifs au collodion sont abondants dans les collections photographiques. En lumière réfléchie, ils présentent une tonalité de couleur crème qui permet de les différencier de procédés au gélatino-bromure d'argent. Mais selon les traitements chimiques subis par le cliché, cette teinte peut aller jusqu'au brun-noir.

Les altérations peuvent être :

- Brisures et fêlures du verre
- Rayures de la couche de collodion
- Réticulation et boursoufflures en cas de mauvaise préparation de la plaque
- Jaunissement de certains vernis

4.2.3. Les négatifs gélatino-argentiques

La **gélatine**, utilisée dès 1839, sur les papiers salés par Talbot, devint un composant indispensable à la photographie à partir des années 1880.

La **première émulsion au gélatino-bromure d'argent** fut préparée par Richard Leach **Maddox** en **1871**.

4.2.3.1. Les négatifs sur plaque de verre (1878-1940)

En 1878, Benett parvient à augmenter considérablement la sensibilité de la plaque en chauffant l'émulsion pendant quelques heures. Dès lors, le procédé se répand rapidement et tend à supplanter tous les autres, d'autant qu'il est possible de conserver longtemps les plaques préparées avant leur utilisation.

Plusieurs sociétés, qui subsistent encore aujourd'hui, fabriquent et diffusent dans le monde entier des **plaques prêtes à l'emploi** : les Etablissements Lumière (France), Agfa (Allemagne), Eastman (Etats-Unis d'Amérique), Ilford (Grande-Bretagne).

4.2.3.2. Les négatifs sur support souple

Les premiers essais de **négatifs sur support souple** furent tentés par **Eastman** (Kodak) dès **1884** : on revint d'abord au négatif papier, puis le procédé évolua vers un transfert de la couche sensible sur plaque de verre.

1889 vit l'apparition d'une nouvelle matière synthétique, le **nitrate de cellulose**, qui permit à Kodak de fabriquer des supports transparents et flexibles semblables aux pellicules que nous connaissons encore aujourd'hui.

Utilisé jusqu'en 1951 pour les photographies et les films, le nitrate de cellulose est finalement interdit parce qu'il est hautement **inflammable**.

Entre 1914 et les années 1950, la chimie des matières plastiques se développe et fournit à la photographie toute une gamme de supports pour les négatifs. Les plus utilisés furent le **diacétate de cellulose** (1923), le **triacétate de cellulose** (1948), ainsi que le **polyester** (1955), ces deux derniers matériaux étant encore utilisés.

4.2.3.3. Les altérations des négatifs au gélatino-bromure

Les altérations des négatifs gélatino-bromure peuvent être :

- Brisures et fêlures de la plaque de verre
- **Décollement de couche image**, lié aux variations hygrométriques entraînant dilatation et contraction de la gélatine.
- **Décomposition du support**

4. Les supports photographiques

- particulièrement spectaculaire pour le **nitrate de cellulose**, elle débute par une coloration du support, se poursuit par une altération de l'émulsion photosensible (poisseuse en milieu humide, cassante en milieu sec), la fragilisation du support et le dégagement de vapeurs acides (acide nitrique) ; à ce stade, les documents conservés aux alentours sont en danger, tant à cause des vapeurs acides que des risques d'incendie ; enfin, les négatifs finissent par être collés entre eux et contre les enveloppes qui les contiennent, l'image est perdue : au dernier stade, il ne reste qu'une poudre brunâtre.
- Le diacétate et le triacétate de cellulose se rétractent et sont sujets à ce qu'on appelle le **syndrome du vinaigre** en raison de l'odeur d'acide acétique qu'ils dégagent, tandis que l'image se plisse.
- Développement de **micro-organismes** se nourrissant de la gélatine et détruisant l'image dans un milieu humide.
- Dégradation de l'image, parfois sous la forme de taches, plus souvent sous la forme d'un **miroir d'argent**, appelé « voile dichroïque » provoqué par les cartons de conditionnement. Certains traitements chimiques destinés à renforcer les contrastes après la prise de vue peuvent aussi entraîner une coloration jaune ou blanchâtre.

4.3. Les tirages positifs en noir et blanc

Les premiers positifs étaient des images uniques, de grande qualité mais nécessitant beaucoup de compétences professionnelles.

Le procédé négatif-positif, issu des recherches de Henry Fox Talbot en 1841, permit la naissance de l'**image multiple** : à partir d'une seule prise de vue, il devenait possible de créer de nombreux tirages.

Les premiers essais eurent lieu sur **papier salé**, puis **albuminé**. Ces procédés artisanaux furent remplacés à partir des années 1880 par des **papiers produits à l'échelle industrielle** pour aboutir au **papier à développement** que nous connaissons encore aujourd'hui.

4.3.1. Le papier salé

Les tirages positifs s'obtiennent par noircissement direct en contact avec le négatif selon la procédure suivante :

- **L'exposition** : le négatif est mis en contact étroit avec le papier sensible et l'ensemble est exposé longuement au soleil sous les rayons duquel le chlorure d'argent se transforme en argent.
- **Le virage et le fixage** : le tirage est trempé dans une solution à base de sels d'or pour obtenir une tonalité plus agréable, puis est fixé dans un bain d'hyposulfite de sodium et lavé à l'eau courante. Ces deux dernières opérations éliminent les sels sensibles afin de rendre l'image stable et moins réactive à la lumière.

L'une des grandes caractéristiques de ces photographies est la fragilité de l'image qui a tendance à disparaître. Cette fragilité est liée aux phénomènes d'**oxydation de l'argent**, dont les causes peuvent être :

- La médiocrité du traitement chimique : bain de fixateur usagé, lavage insuffisant
- La pollution atmosphérique
- La mauvaise qualité des matériaux en contact : boîtes, carton des albums photographiques.

L'attaque de l'image est d'abord visible dans les parties claires, là où l'argent est présent en faible quantité.

4.3.2. Le papier albuminé

En **1850**, **Louis-Désiré Blanquart-Evrard** présente les premières photographies sur papier albuminé. C'est un papier qui a été trempé dans une **solution d'albumine** (blanc d'œuf) et de sel, puis sensibilisé dans une solution de nitrate d'argent.

Grâce à l'apparition des négatifs sur verre, de bien meilleure qualité que les négatifs sur papier, le procédé négatif-positif se développe.

Les tirages positifs sur papier albuminé présentent une meilleure définition et un plus grand contraste que les tirages sur papier salé, car l'image n'est plus formée sur les fibres du papier, mais dans la couche d'albumine.

L'image est obtenue, comme sur les papiers salés, par **noircissement direct**, puis virée et fixée. Le résultat est d'une tonalité chaude, de brun à violet, avec un aspect satiné, parfois très brillant si le papier a été doublement albuminé ou verni.

Ce procédé connut un grand succès pendant la deuxième moitié du XIXe siècle et ne fut supplanté que vers 1895 par les papiers à émulsion de fabrication industrielle.

Les altérations, liées à l'humidité, la chaleur et la pollution, peuvent être les suivantes :

- **Jaunissement** de l'albumine dans les parties claires : cette altération, liée à la structure chimique de l'albumine, est la plus fréquente ; elle est accélérée surtout par l'humidité, mais aussi par la lumière.
- **Craquelures** provoquées par les différences de comportement entre le papier, qui se dilate en cas d'humidité, et l'albumine qui ne suit pas ce mouvement. Lorsque la photographie est contrecollée sur un carton, le phénomène est encore plus important, car elle ne peut s'enrouler sur elle-même pour compenser

4. Les supports photographiques

- Disparition et **décoloration** de l'image : c'est le même phénomène que sur les papiers salés, moins accentué.
- **Taches** et piqures liées à des attaques chimiques provenant de la pollution ou des matériaux annexes : carton contrecollé, passe-partout, album ou boîte.

4.3.3. Les positifs de l'ère industrielle

La mise au point du procédé négatif au gélatino-bromure rend la prise de vue plus accessible à un large public de non-spécialistes, point de départ **du développement industriel de la photographie vers 1880**. Les industriels orientent désormais leurs recherches vers le complément indispensable : des **procédés de tirages plus faciles** sur une nouvelle gamme de **papiers positifs**.

Les premiers de ces papiers sont fabriqués en Allemagne à laquelle ils doivent leur nom : **aristotypes**. Produits de façon industrielle, ils doivent leur grand succès entre 1890 et 1930 à leur facilité d'emploi, à leur sensibilité à la lumière, à leur plus grande permanence et à leurs qualités esthétiques. Bien qu'ils utilisent encore les procédés à noircissement direct, ils préfigurent les papiers photographiques modernes.

En 1900, on rencontre principalement deux types :

- **Les aristotypes au collodion** (papier celloïdine)
- **Les aristotypes à la gélatine** (papier citrate)

4.3.3.1. L'aristotype au collodion

C'est un **papier recouvert de deux couches** :

- Une couche de sulfate de baryum (pigment blanc) en suspension dans de la gélatine. Ce barytage permet, par rapport aux papiers salés ou albuminés, une plus grande adhésion de l'émulsion photosensible sur le support et donne au papier une surface lisse sur laquelle le rendu des détails est meilleur. On peut aussi par ce procédé obtenir des papiers d'aspect mat ou brillant ou encore des papiers colorés (mauve, rose, lilas).
- Une couche photosensible au collodion-chlorure d'argent.

Sa fabrication très rapidement mécanisée permet une **production à grande échelle** sous la forme de rouleaux qui sont ensuite découpés au format des négatifs. Ces formats sont restés usuels pour les tirages jusqu'à aujourd'hui (6,5 x 9, 9 x 12, 13 x 18, 18 x 24, 24 x 30 cm). Ce papier restait utilisable pendant plusieurs mois, ce qui représentait un grand progrès par rapport aux papiers salés et albuminés.

Le tirage se fait par exposition du papier à la lumière du soleil sous le négatif, puis l'image qui s'est formée progressivement est passée dans un ou plusieurs bains de virage et de fixage.

A partir de 1914, les aristotypes au collodion vont progressivement laisser la place aux **papiers « gaslight »** et aux **papiers à développement**.

4.3.3.2. L'aristotype à la gélatine

Mis au point vers **1881** et fabriqué d'abord en Allemagne dès 1885, c'est un papier de même type que l'aristotype au collodion, mais où ce dernier a été remplacé par une **émulsion sensible au gélatino-bromure**.

4.3.3.3. Les altérations des aristotypes

Malgré une stabilité accrue par rapport aux papiers salés et albuminés, les aristotypes peuvent connaître deux types de dégradation :

- Le **décollement de la couche image** : les papiers au collodion sont particulièrement fragiles.
- **Affaiblissement et taches liés à l'oxydation de l'argent**. Un bain de fixage trop usagé provoque des taches vert-jaune dans les parties claires. Une mauvaise élimination du fixateur au lavage déclenche, sous l'effet de l'humidité, un phénomène de sulfuration qui colore en jaune les parties sombres de la photographie.
- **Miroir d'argent**

4.3.4. Le papier à développement

Jusqu'en 1895, les tirages se font essentiellement par noircissement direct, bien que ce procédé exige un temps d'exposition très long. Les seuls cas où le développement est utilisé sont les portraits agrandis à partir de négatifs de petite taille, dits « cartes de visite ». Ces agrandissements retouchés au fusain ou à la peinture sont appelés « crayon-portraits ».

La **mise au point de tireuses automatiques** nécessite l'adoption du procédé à développement pour obtenir un grand nombre de tirages en un temps minimal.

Le **papier à développement** est un papier très photosensible qui, après une **brève exposition à la lumière**, soit en contact direct avec le négatif, soit sous un agrandisseur, est développé dans un **bain de révélateur** qui fait apparaître l'image.

Vers 1890, il existe deux types de papier à développement :

- Le **papier au gélatino-bromure d'argent**, toujours en usage aujourd'hui
- Le papier au gélatino-chlorure ou chloro-bromure d'argent, appelé « **papier gaslight** », car l'exposition

4. Les supports photographiques

peut se faire à la lumière artificielle de lampes à gaz.

Par la suite, la miniaturisation des négatifs oblige à utiliser du papier au gélatino-bromure d'argent, seul papier adapté aux agrandissements.

Les clichés tirés sur papiers à développement sont plus stables que ceux obtenus par noircissement direct, car le développement provoque des amas de filaments d'argent plus volumineux que les particules d'autrefois. Néanmoins, il peut y avoir deux sortes d'altérations :

- **Taches jaunes** résultant de la dégradation de l'argent sous l'effet de produits résiduels des traitements ou des gaz polluants.
- **Craquelures** de la couche image provoquées par des variations brutales de l'humidité et de la température.
- **Miroir d'argent**, c'est-à-dire un voile métallique bleuté sur les parties sombres, visible en lumière diffuse et provoquée par une migration des particules d'argent vers la surface. La principale cause est l'humidité ambiante.

La dernière évolution du papier à développement se produit dans les **années 1970** qui voient l'apparition des **papiers plastifiés** : le support baryté est remplacé par une feuille de papier doublée sur ses deux faces d'une feuille de polyéthylène. Ces papiers permettent un lavage et un séchage plus courts.

Les papiers plastifiés ont la réputation de se conserver moins bien que les papiers barytés. Il est particulièrement important de conserver ces clichés en surveillant de près la température et l'humidité, mais surtout il faut à tous prix éviter ou limiter l'exposition à la lumière qui peut provoquer des craquelures suite à des réactions photochimiques du polyéthylène. L'utilisation d'antioxydants dans la fabrication des papiers plastifiés récents permet de pallier cet inconvénient.

4.3.5. Les procédés non argentiques

Pour les papiers de tirage, plusieurs procédés de photosensibilisation sans argent ont aussi été utilisés au XIX^e siècle.

- Le **cyanotype** : mis au point en 1842, il s'agit d'un papier qui utilise la photosensibilité des **sels de fer**. Peu coûteux, il fut très utilisé vers 1880 pour le **tirage des photographies, des plans et des dessins industriels**. L'image a une coloration bleue. Les principales altérations sont liées à la mauvaise qualité du papier utilisé qui, trop acide, devient cassant.
- Le **platinotype** : ce procédé au platine, bien que coûteux, fut très utilisé des années 1880 à 1914, notamment pour **l'illustration des livres et revues**. Il permet des nuances subtiles de gris et sa permanence est excellente grâce à l'inaltérabilité du platine. Il nécessite l'utilisation d'acides pour le développement et le fixage, ce qui peut entraîner, en cas de lavage imparfait, une dégradation accélérée du support papier, souvent lui-même déjà acide. De plus, le platine est un catalyseur chimique qui favorise la dégradation de la cellulose, entraînant l'altération la plus caractéristique de ce procédé : le transfert des parties sombres de l'image sur une autre feuille de papier en contact.
- Les **procédés pigmentaires : la gélatine et la gomme bichromatées**. Ces procédés utilisent les propriétés de la gélatine et de la gomme arabique qui, traitées avec des sels de bichromate photosensibles, deviennent insolubles après exposition à la lumière. En ajoutant des pigments, on obtint en 1855 le premier procédé pigmentaire : seules les parties exposées à la lumière restent après lavage en emprisonnant les pigments, formant ainsi une image en relief sur le papier. Les deux procédés les plus fréquents, utilisés jusqu'en 1930, ont été :
 - Le **procédé au charbon** à base de gélatine bichromatée et de noir de carbone, qui existent en plusieurs teintes, la plus fréquente étant le « rouge chocolat ».
 - Le **procédé à la gomme arabique bichromatée** mélangée à des couleurs pour aquarelle.

Ces tirages sont parmi les plus stables qui existent, notamment ceux au noir de charbon. Les autres pigments peuvent parfois pâlir après une exposition prolongée à la lumière. La gélatine et la gomme arabique peuvent être attaquées par des **micro-organismes**.

4.4. Les procédés couleur

Dès les premiers daguerréotypes, des recherches sont engagées pour aboutir à des photographies en couleur.

4.4.1. Les premières photographies en couleur

En **1869**, les premiers tirages couleurs sont dus à **Ducos du Hauron** qui met au point un procédé compliqué, mais prometteur, de prise de vue à travers trois **filtres de couleur**, selon le principe de la trichromie encore utilisée par l'imprimerie.

Sur cette base, l'**Irlandais John Joly** crée en **1894** un nouveau procédé qui permet de produire des diapositives à partir d'un négatif noir et blanc exposé à la lumière derrière une multitude de filtres microscopiques bleus, verts et rouges réunis en une mosaïque.

De nombreux brevets mettant en œuvre ces principes seront déposés jusqu'en 1938, notamment le procédé *Anficolor et les autochromes*

4. Les supports photographiques

L'**autochrome**, commercialisé à partir de **1907** par les **frères Lumière**, est à l'origine une plaque de verre couverte d'un réseau de fécules de pomme de terre colorées en rouge-orangé, violet et vert et d'une émulsion photosensible. Cette plaque est exposée dans un appareil photographique en la retournant de façon à ce que la lumière traverse les particules colorées avant d'atteindre la couche sensible. Enfin, la plaque est développée. A ce stade, la plaque si elle est fixée, se présente sous la forme d'un négatif qui présente par transparence les couleurs complémentaires de celle de l'objet photographié. Pour obtenir un positif, il faut inverser l'image par un deuxième développement du bromure d'argent non influencé par la lumière lors de l'exposition. On obtient dès lors une **diapositive sur verre** qui présente par transparence les couleurs de l'objet photographié. La plaque est protégée par un vernis.

A partir de 1931, le support verre est remplacé par un **support souple**. En 1935, l'arrivée sur le marché d'un nouveau procédé, le kodachrome, voue l'autochrome à la disparition.

Les altérations possibles sont celles que peuvent subir tous les clichés au gélatino-bromure et en plus, celles plus spécifiques au réseau coloré :

- **Altération des couleurs** : malgré une grande stabilité apparente, il peut y avoir jaunissement des vernis
- **Taches vertes** dues à la diffusion du colorant vert solubilisé par l'eau, la plupart du temps au moment du traitement d'une plaque défectueuse, ou lors d'une immersion accidentelle plus récente dans l'eau.
- **Taches brunes** liées à une oxydation de l'argent.
- **Dédoublage des couches**, provoqué par des variations climatiques
- **Abrasions et salissures** de surface
- Développement de **micro-organismes** : pour protéger la surface des autochromes, ils ont souvent été doublés d'une plaque de verre ; au cours de cette opération, une certaine quantité d'humidité a été enfermée et peut se condenser quand la température baisse ce qui favorise l'installation de micro-organismes qui détruisent l'image. D'autre part, la gélatine se ramollit et adhère à la plaque de verre de protection.
- **Réticulation du vernis**, sous l'effet de l'humidité.

4.4.2. Les photographies en couleur modernes

De **nouveaux procédés**, basés sur des concepts très différents des précédents, vont voir le jour à partir de **1935**. Mais c'est seulement à partir de **1970** que la photographie en couleur va vraiment se développer et tend à remplacer la photographie en noir et blanc.

Toutes les photographies en couleur moderne sont constituées de trois colorants (jaune, magenta, cyan) répartis respectivement dans trois couches de gélatine superposées.

On distingue **quatre procédés principaux** :

- **Les émulsions à développement chromogène à coupleurs incorporés** : c'est le procédé lancé en 1935 par Kodak sous le nom de **Kodachrome**. Un support est recouvert de trois couches superposées d'émulsion au gélatino-bromure d'argent. Chaque couche est sensibilisée à une lumière de couleur différente : bleu, vert et rouge. Dans chacune se trouve un coupleur, produit incolore qui, après l'exposition, réagit lors du développement avec un révélateur chromogène pour former le colorant jaune, magenta ou cyan. Tout l'argent est ensuite éliminé dans un bain de blanchiment, puis de fixage.
- **Le cibachrome**, créé par **Ilford**, permet de réaliser des tirages à partir d'une diapositive. Ce procédé est basé sur la destruction sélective des trois colorants, tous présents dans la couche sensible. Lors du développement, le colorant est détruit aux endroits où se forme l'argent métallique, qui est ensuite dissout.
- **Le polaroid** à développement instantané : ce procédé est basé toujours sur la superposition de couches sensibles aux trois types de lumière et sur la diffusion et le transfert de colorants réagissant en milieu basique pour former l'image colorée.
- **Les procédés artisanaux Dye-transfer et Fresson** : ce sont deux procédés très coûteux, utilisés seulement pour les tirages de collection ou la publicité.
 - Le **dye-transfer** : trois matrices en gélatine correspondant à la sélection trichrome sont tirées, puis imprégnées de colorants, enfin transposées sur un papier baryté et gélatiné pour former la photographie en couleur.
 - Le **procédé Fresson**, héritier des procédés au charbon, consiste à reporter quatre couches de gélatine bichromatée teintées avec des pigments sur un même support.

Les photographies en couleur posent de **gros problèmes de conservation**. Celles obtenues par un développement chromogène sont les plus fragiles. **Les colorants se dégradent sous l'effet de la lumière, mais aussi dans l'obscurité**. Généralement le cyan s'altère plus vite que les deux autres colorants, introduisant ainsi une variation considérable du rendu des couleurs par rapport au cliché tel qu'il était lors de sa production.

D'après des tests de vieillissement, on estime que le film kodachrome conservé dans l'obscurité et dans des conditions climatiques correctes a une durée de vie de 90 ans, alors que le dye-transfer peut aller jusqu'à 300 ans et l'ektachrome (diapositive) commence à changer de couleur au bout de 30 ans. Parmi les tirages couleurs le cibachrome s'avère particulièrement stable dans l'obscurité comme à la lumière.

Les films négatifs couleur s'altèrent au bout d'une dizaine d'années.

5. Evaluation des connaissances : Historique des supports et des matériaux

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

[Solution n°1 p 39]

Exercice A sur l'historique des supports et des matériaux :

Lesquels de ces énoncés sont-ils vrais ?

- | | |
|--------------------------|--|
| ☐ | 1. Le procédé de blanchiment des matières premières au chlore nuit à la conservation du papier |
| ☐ | 2. Utilisées pour rendre le papier opaque, les charges composées de plâtre (sulfate de calcium), de sulfate de baryum ou de plomb, de kaolin ou de talc sont favorables à la conservation du papier |
| ☐ | 3. L'introduction de la colophane au XIX ^e siècle, utilisée pour l'encollage du papier, a permis d'accélérer la fabrication du papier |
| ☐ | 4. Le milieu du XVIII ^e siècle vit l'apparition du papier vélin, qui a la qualité d'être particulièrement résistant |
| ☐ | 5. L'introduction de l'usage du bois comme matière première de la fabrication de papier au XIX ^e siècle a entraîné la production de papier davantage résistant que celui fabriqué avec du textile |

Exercice 2

[Solution n°2 p 39]

Exercice B sur l'historique des supports et des matériaux :

Lesquels de ces énoncés sont-ils vrais ? (suite)

- | | |
|--------------------------|---|
| ☐ | 6. Le papier recyclé supporte mal le vieillissement |
| ☐ | 7. La colophane demeure l'agent de collage le plus utilisé, toujours en combinaison avec de l'alun |
| ☐ | 8. Un papier permanent doit obligatoirement être exempt de pâte de bois |
| ☐ | 9. Le papier de fabrication artisanale, parce que constitué de fibres végétales, est nécessairement de grande qualité |
| ☐ | 10. Le parchemin est insensible aux variations de température |

Les galeries associées à ce module

Solution des exercices

> Solution n°1 (exercice p. 37)

☒	1. Le procédé de blanchiment des matières premières au chlore nuit à la conservation du papier <i>L'usage du chlore, introduit au XIX^e dans le procédé de fabrication du papier, favorise le vieillissement prématuré de ce support. (chapitre 1.3)</i>
☐	2. Utilisées pour rendre le papier opaque, les charges composées de plâtre (sulfate de calcium), de sulfate de baryum ou de plomb, de kaolin ou de talc sont favorables à la conservation du papier <i>Certaines de ces substances, utilisées depuis le XIX^e siècle pour les charges, contiennent de l'acide, ce qui nuit à la conservation du papier. (chapitre 1.3.1.1)</i>
☒	3. L'introduction de la colophane au XIX ^e siècle, utilisée pour l'encollage du papier, a permis d'accélérer la fabrication du papier <i>Par contre, la nécessité d'ajouter conjointement une grande quantité d'alun a entraîné la production d'un papier particulièrement acide et de mauvaise qualité. (chapitre 1.3.1.2.)</i>
☐	4. Le milieu du XVIII ^e siècle vit l'apparition du papier vélin, qui a la qualité d'être particulièrement résistant <i>Ce papier, effectivement inventé en 1750, est fragile car ses fibres sont courtes.</i>
☐	5. L'introduction de l'usage du bois comme matière première de la fabrication de papier au XIX ^e siècle a entraîné la production de papier davantage résistant que celui fabriqué avec du textile <i>Les fibres de bois, beaucoup moins pures que celles des textiles, produisent du papier dont le vieillissement est rapide. (chapitre 1.3.3)</i>

> Solution n°2 (exercice p. 37)

☒	6. Le papier recyclé supporte mal le vieillissement <i>Il est généralement de piètre qualité, donc non favorable à la conservation à long terme. (chapitre 1.4)</i>
☒	7. La colophane demeure l'agent de collage le plus utilisé, toujours en combinaison avec de l'alun <i>Le papier produit est ainsi toujours victime de dégradation puisqu'il contient une certaine acidité. (chapitre 4.1.1.1)</i>
☒	8. Un papier permanent doit obligatoirement être exempt de pâte de bois <i>Il doit être fait de fibres de cellulose pure, ce qui est impossible avec de la pâte de bois. (chapitre 4.1.2.3)</i>
☐	9. Le papier de fabrication artisanale, parce qu'il est constitué de fibres végétales, est nécessairement de grande qualité <i>La qualité du papier dépend aussi de la qualité des matières premières employées et du procédé de fabrication. (chapitre 4.2)</i>
☐	10. Le parchemin est insensible aux variations de température <i>Outre les écarts de température, il est sensible à une forte chaleur ainsi qu'aux micro-organismes. (chapitre 4.2.3.1)</i>

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.