

## La Renaissance du Pastel en pays de cocagne

par Mireille GALIAN et André GILLES  
Lycée Technologique - 26, boulevard Déodat de Séverac  
31076 Toulouse Cedex

---

*A l'occasion des Journées Nationales de l'U.d.P. en octobre 1991, de l'Université d'été, en septembre 1992, à Toulouse, nous avons visité le Musée du Pastel au Château de Magrin, sur la route historique du Circuit du Pastel, au Pays de Cocagne. La visite a inspiré cette étude.*

Du Moyen-Age à la fin du XVI<sup>ème</sup> Siècle, une plante de la famille des crucifères - la guède ou **Pastel** - fait, grâce à ses feuilles, la fortune d'une région qui porte depuis, le nom de «**Pays de Cocagne**». En effet, des feuilles, était extraite une teinture bleue contenant l'**indigo**, qui fut ensuite détrônée par celui extrait d'une plante indigotière tropicale. Aujourd'hui, le Pastel pourrait retrouver un nouveau souffle grâce à ses fleurs dans lesquelles se nicheraient des **Acides Gras Essentiels (A.G.E.)** jouant un rôle indiscutable, entre autres, sur la prévention des maladies cardio-vasculaires.

### LE PASTEL D'HIER À AUJOURD'HUI

Depuis la haute Antiquité, les vertus colorantes du pastel étaient vantées par Théophraste. Vers le XIV<sup>ème</sup> Siècle, **Cocagnes** et **Agranats** (la définition sera donnée plus loin) se négociaient sur les marchés toulousains. La richesse des marchands pasteliers comme **Jean de BERNUY** et **Pierre d'ASSEZAT** était fabuleuse et les hôtels particuliers qui portent encore leur nom dans le vieux Toulouse témoignent de cette splendeur de la Renaissance.

Le pastel du Midi Toulousain se vend alors dans toute l'Europe ; le «Triangle bleu» devient «Triangle d'or».

A la fin du XVI<sup>ème</sup> Siècle, les affaires se gâtent. Les guerres de religion font rage. L'arrivée de l'indigo des Indes occidentales sonne le glas de cette époque fastueuse. Il était en effet beaucoup moins cher

à produire, du fait de sa concentration plus élevée en matière colorante, à partir de la plante indigotière tropicale. Certes, le Blocus Continental, privant l'Empire de couleurs bleues, poussa Napoléon I à relancer la culture du Pastel, mais ce fut sans lendemain.

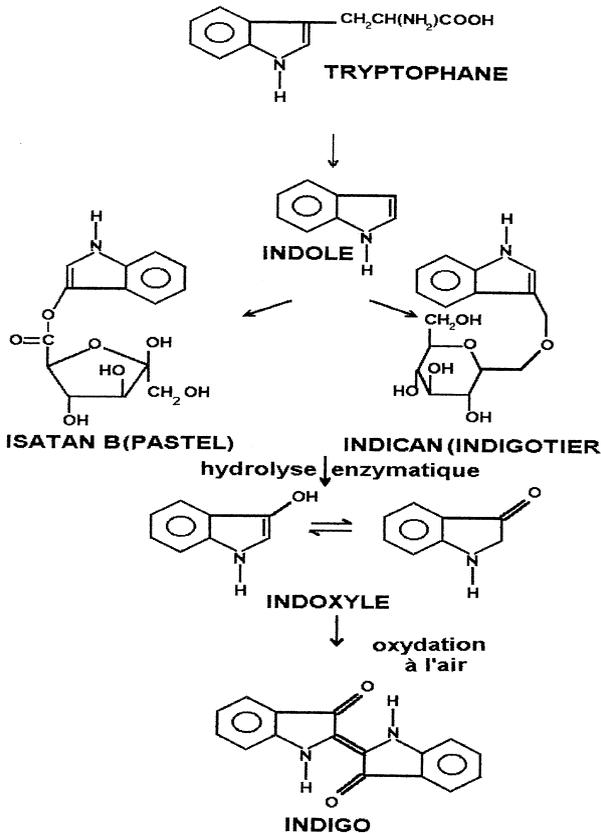
Il fallut ensuite quelques passionnées, au premier rang desquels, P.-G. Rufino, pour que le pastel réapparaisse sous l'angle touristique d'abord. Il fit repousser alors quelques pieds de pastel au pied des tours de son château, à Magrin, en Lauragais ; ce dernier abrite aujourd'hui un fort beau musée consacré à l'histoire de cette plante. Parallèlement, quelques graines recueillies par M. Delmas et A. Gaset, Professeurs à l'École Nationale Supérieure de Chimie de Toulouse (E.N.S.C.T.), partirent se multiplier sur les hauteurs du nord Aveyron avant de redescendre bien vite en Lauragais où P. Mailhol se chargea à la Coopérative Agricole du Lauragais de rendre alors le pastel à une de ses terres de prédilection. La deuxième aventure du pastel venait de commencer, avec l'extraction dans la fleur d'Acides Gras Essentiels, travail de recherche effectué à l'E.N.S.C.T.

## EXTRACTION DU COLORANT

A l'origine, après la récolte, était effectué le broyage des feuilles sous la meule des moulins pasteliers. Ensuite ces feuilles macéraient dans de grandes citernes pleines d'eau ; l'hydrolyse enzymatique s'effectuait en douze heures. Les enzymes étaient produites par les bactéries présentes dans la matière végétale ou apportées avec d'autres matières organiques (urine), dont la décomposition constituait un milieu réducteur, basique la plupart du temps. Quand cette décomposition produisait une acidification du milieu au cours de la fermentation (bactéries lactiques...), on ajoutait de la lessive de cendres (pH = 8,2). Cette solution alcaline obtenue était battue avec de grandes perches pour favoriser le contact avec l'oxygène de l'air. Puis on procédait au façonnage à la main de cette pâte fermentée qui, égouttée et séchée au soleil, donnait des boules sphériques que l'on nommait «COCAGNES». En quatre mois, on parvenait à l'«AGRANAT», matière granuleuse et grisâtre obtenue par le concassage des cocagnes qui, en séchant, avaient durci. L'agranat est dissous dans l'eau ; la solution est aérée. L'**indigotine de pastel** (que l'on appellera désormais **indigo**) précipite alors sous forme de flocons bleus (cf. Annexe 1). Les propriétés du pastel se conservaient pendant dix ans. Par la suite le processus fut amélioré en réalisant l'extraction de l'indigo par une précipitation à l'aide d'eau de chaux puis une oxydation. L'opération ne durait alors que vingt-quatre heures au lieu de six mois.

## LE PASTEL EN PEINTURE

La Pastel a donné son nom à un crayon puis à une gamme de couleurs. Depuis longtemps d'ailleurs, sa «fleurée» recueillie à la surface des cuves des teinturiers était vendue sous forme de poudre colorante aux artistes peintres. Au XVIII<sup>ème</sup> Siècle, on a trouvé un procédé qui par amalgame avec de la gomme arabique et du carbonate de calcium donne un crayon d'un bleu doux. Actuellement encore, la Manufacture des Gobelins utilise le pastel pour ses productions de prestige. Étendu aux autres couleurs primaires, il engendre toute la gamme des Pastels qui désigne un ensemble de couleurs douces.



**Figure 1** : Indigo ou 2-(1, 3-dihydro-3-oxo-2H-indol-2-ylidène)-1,2-dihydro-3H-indol-3-one.

## LA CHIMIE DU PASTEL

Le précurseur biologique de la substance colorante est un hétéroside, l'**ISATAN B** présent dans les feuilles de pastel ou l'**INDICAN** dans le cas de l'indigotier. Après la cueillette des feuilles, des bactéries produisent des enzymes qui permettent l'hydrolyse de ces hétérosides ; ceux-ci donnent l'**INDOXYLE** ou 3-hydroxyindole, incolore et soluble dans l'eau pouvant s'écrire sous forme tautomère faisant apparaître la fonction cétone présente dans la molécule d'indigo ; il se dimérise par oxydation à l'air et donne l'**INDIGO**, solide cristallin bleu foncé, insoluble dans l'eau, dont la structure a été déterminée en 1926 par Rayons X et dont le stéréoisomère E est stabilisé par liaisons hydrogène intramoléculaires. Toutes ces molécules contiennent le noyau indole, présent déjà dans le tryptophane (figure 1).

## L'HUILE DE PASTEL

La graine de pastel contient une huile (triglycéride) dont la composition en acides gras assez fortement insaturés (2, 3 doubles liaisons) est telle qu'elle peut être envisagée comme une nouvelle source d'approvisionnement en acides gras essentiels (A.G.E.) (cf. Annexe 2).

### Extraction

Les graines de pastel sont décortiquées et fournies par la Coopérative Agricole Lauragaise.

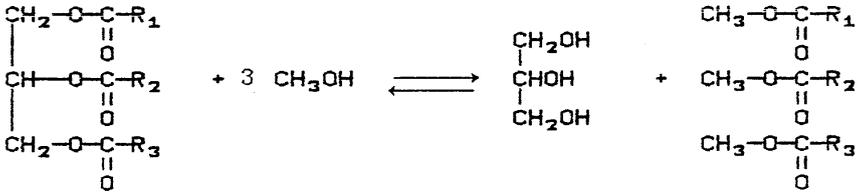
L'extraction de l'huile par l'**HEXANE** ou le **FORANE 113**, à partir de ces graines broyées, est effectuée dans un Soxhlet à reflux. Le forane 113 est le 1,2,2-trichloro-2,1,1-trifluoroéthane de formule chimique  $F_2ClC-CCl_2F$ .

Après filtration, l'évaporation du solvant est réalisée à l'aide d'un évaporateur rotatif sinon par distillation.

### Composition en A.G.E.

La composition en A.G.E. est déterminée par analyse chromatographique en phase gazeuse. Celle-ci est effectuée sur les esters méthyliques obtenus après trans-estérification des triglycérides avec du méthanol en présence de soude.

La réaction de trans-estérification est la suivante :



Les résultats relatifs à la composition en A.G.E. sont les suivants :

Acide Palmitique	C16	4,7 %
Acide Stéarique	C18	1,5 %
Acide Oléique	C18	23,7 %
Acide Linoléique	C18	12,6 %
Acide Linoléinique	C18	28,5 %
Acide Arachidique	C20	1,1 %
Acide Gadoléique	C20	9,2 %
Acide Béhénique	C20	0,6 %
Acide Erucique	C22	17,7 %

## CONCLUSION

Les graines de pastel sont riches en Acides Gras Essentiels (A.G.E.) jouant un grand rôle en dermatologie et dans la prévention des maladies cardio-vasculaires.

Fin 1991, une gamme de produits cosmétologiques, à base d'huile extraite de graines de pastel, est mise sur le marché. En juin 1992, s'est tenu à ERFURT, en Allemagne, le premier congrès des spécialistes du pastel.

Le pastel pourrait bien devenir, «l'une des crucifères majeures de l'an 2000», après avoir été la plante fabuleuse qui fit, il y a 500 ans, la fortune du PAYS DE COCAGNE

## *Annexe 1*

### *Le colorant indigo*

---

L'indigo, poudre bleu foncé, est le plus ancien représentant de la famille des colorants indigoïdes.

Parmi les autres colorants de cette série, le **pourpre antique**, sécrété en très faible quantité par un mollusque de la famille des Murex, est probablement le mieux connu. Grâce à des réactions de dégradation, on a démontré que cette substance est le 5, 5', 7, 7'-tétrabromoindigo (figure 2) ; sa synthèse coûte trop cher pour qu'il soit utilisé commercialement.

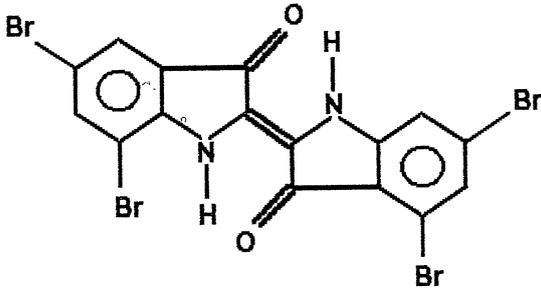


Figure 2

Pour revenir à l'indigo, c'est un colorant de cuve naturel ; il est insoluble dans l'eau et de nombreux solvants.

Il contient un chromophore (figure 3) et le noyau Indole (figure 4).

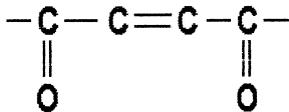
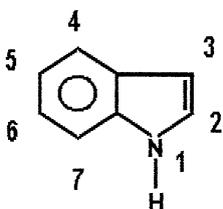


Figure 3



## INDOLE

Figure 4

Sa structure, déterminée grâce aux rayons X en 1926, montre une stabilisation par liaisons hydrogène (figure 5).

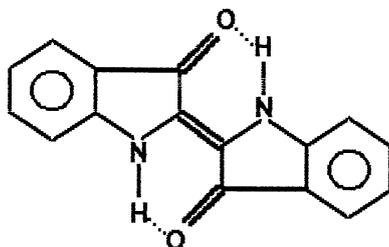


Figure 5

Son histoire commence en Inde, 4000 ans avant Jésus-Christ (Dioscoride, Pline). Il fut importé en Europe, des Indes Orientales, au commencement du XVI<sup>ème</sup> Siècle et son emploi en teinture se généralisa très rapidement. Les enjeux économiques de la production d'indigo devinrent importants, ce qui justifia les premières recherches précises sur sa nature chimique et la mise au point de nombreuses synthèses au XIX<sup>ème</sup> Siècle.

L'indigo, aujourd'hui colorant de synthèse, est commercialisé en Allemagne par BASF depuis 1896.

### 1. EXTRACTION

L'indigo est extrait de différentes sortes d'indigotiers - *Indigofera Tinctoria* - (famille des légumineuses) et en moindre quantité de la guède ou Pastel - *Isatis Tinctoria* d'Europe - (famille des crucifères). Les indigotiers et la guède contiennent un hétéroside (l'indican ou

l'isatan B), qui peut être hydrolysé en indoxyle (3-hydroxyindole). Ce précurseur, incolore et soluble dans l'eau, s'oxyde à l'air en indigo, bleu et insoluble dans l'eau (cf. figure 1).

Pour extraire l'indigo des plantes, quelles qu'elles soient, le procédé utilisé était semblable à celui du pastel (cf. précédemment).

## 2. HISTOIRE DES RECHERCHES SUR SA STRUCTURE ET SA SYNTHÈSE

### 2.1. Les recherches pour élucider la structure de l'indigo datent du milieu du XIX<sup>ème</sup> Siècle

En 1841, Laurent et Erdmann transforment l'indigo en isatine par oxydation à l'aide de l'acide nitrique (figure 6) :

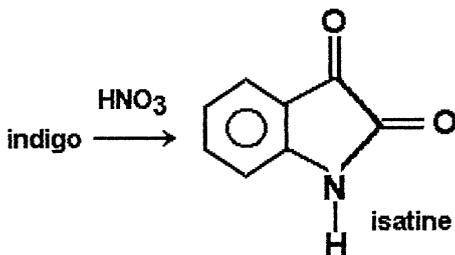


Figure 6

En 1848, Fritzsche distille l'indigo en présence d'hydroxyde de potassium et obtient l'aniline du nom portugais de l'indigo (anil).

En 1865, Baeyer et Knop réduisent l'indigo en dioxindole, oxindole et indole (figure 7) :

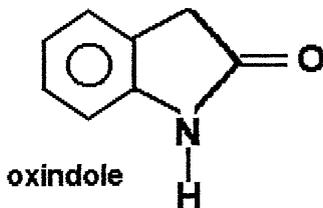


Figure 7

En 1869, Baeyer postule la structure de l'indigo sans toutefois préciser la stéréochimie qui est élucidée en 1926 grâce aux Rayons X.

## 2.2. Les recherches pour pouvoir réaliser la synthèse de l'indigo industriellement se font parallèlement

En 1869, Baeyer et Emmerling commencent les recherches à partir de l'acide 2-nitrocinnamique.

Enfin en 1870, Engler et Emmerling réalisent une première synthèse de l'indigo en chauffant la 2-nitroacétophénone avec de la chaux et de la poudre de zinc.

En 1882, Baeyer publie la première synthèse ; celle-ci est réalisée à partir de l'acide 2-nitrocinnamique ; il bâtit la chaîne à 4 atomes de carbone entre les 2 noyaux benzéniques avant de fermer les 2 hétéro-cycles (figure 8).

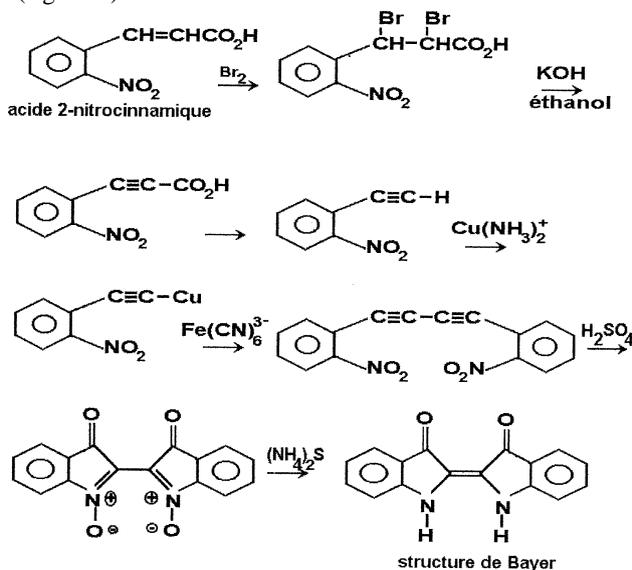


Figure 8

En 1882, Baeyer propose également une préparation en une opération à partir de 2-nitrobenzaldéhyde : (la manipulation suivante est extraite de *Chimie des couleurs et des odeurs*\*).

\* Mady Capon, Véronique Courilleau-Haverlant, Cécile Valette (École Normale Supérieure de Cachan), *Chimie des couleurs et des odeurs*, Nantes, Cultures et Techniques, (23, rue du Recteur Schmitt), 2<sup>ème</sup> édition, 1993, 256 pages.

**Réaction** (Figure 9) :

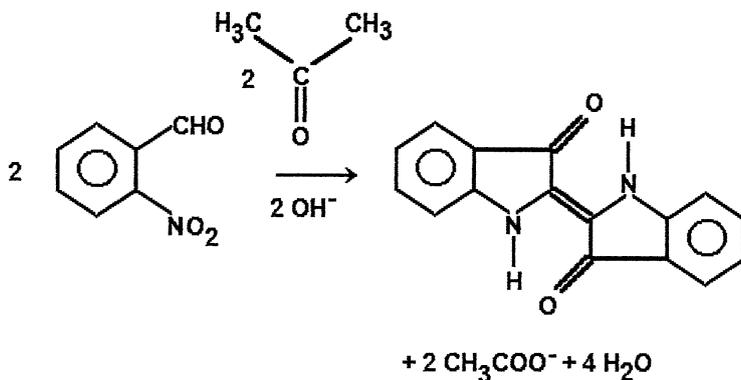


Figure 9

### **Mode opératoire**

Durée : 1 h 30.

Matériel : Agitateur magnétique - Bêcher de 100 cm<sup>3</sup> - Pipettes de 20 cm<sup>3</sup> et 5 cm<sup>3</sup> - Entonnoir en verre fritté ou büchner - Fiole à vide.

Produits : 2-nitrobenzaldéhyde (irritant ; éviter le contact avec la peau et les yeux) - Acétone (inflammable) - Éthanol (inflammable) - Soude 2 mol.L<sup>-1</sup> (corrosif ; risque de graves brûlures ; éviter tout contact avec les yeux).

Protocole expérimental : Dans un bêcher, dissoudre 1 g de 2-nitrobenzaldéhyde dans 20 cm<sup>3</sup> d'acétone et diluer la solution avec 35 cm<sup>3</sup> d'eau. Agiter vigoureusement la solution, en ajoutant 5 cm<sup>3</sup> de solution de soude 2 mol.L<sup>-1</sup>. La couleur de la solution passe rapidement au jaune clair puis devient plus foncée et en quelques secondes un précipité d'indigo apparaît. Continuer d'agiter pendant cinq minutes puis essorer sous vide le précipité bleu-violet. Laver le solide à l'eau jusqu'à ce que les eaux de lavage soient incolores, puis à l'éthanol. Sécher le solide sous vide cinq à dix minutes puis à l'étuve (100-120°C) trente à quarante minutes.

### Résultats

Un rendement de l'ordre de 80 % a été obtenu (attention une mole d'indigo demande 2 moles de 2-nitrobenzaldéhyde) !

En 1893 Baeyer réalise une autre synthèse à partir de l'acide phénylacétique (figure 10).

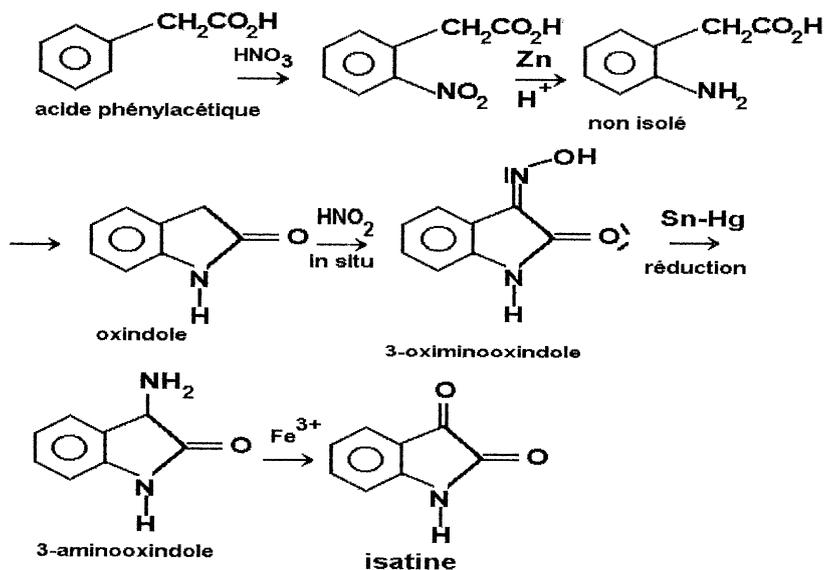


Figure 10

La transformation de l'oxindole en 3-oximinooxindole peut s'interpréter de la façon suivante (figure 11).

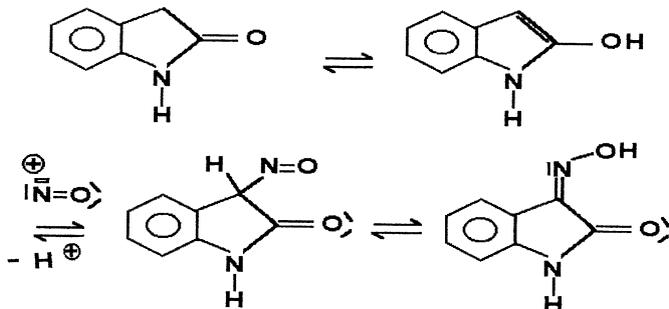


Figure 11

**En 1897, K. HEUMANN (BASF) propose un procédé commercial à partir du naphthalène**

Le naphthalène est oxydé en acide 1,2-benzènedioïque, déshydraté en anhydride puis transformé en imide puis en dérivé bromé. Ce dernier subit ensuite la réaction de dégradation d'Hoffman pour conduire à l'acide anthranilique (I) (figure 12).

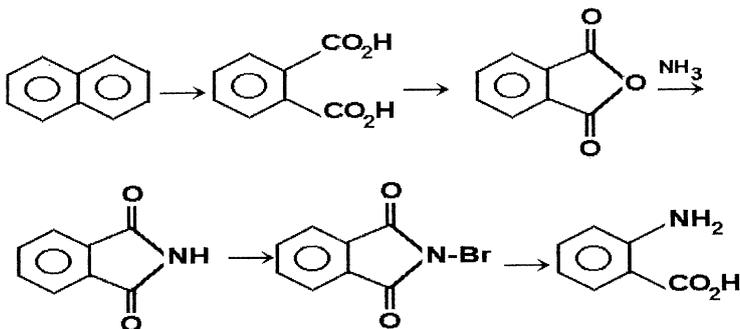


Figure 12

Cet acide est ensuite transformé en acide anthranilinoacétique (II) en le chauffant avec l'acide chloroacétique. Ensuite ce composé subit une fusion alcaline en l'absence d'oxygène. Le composé (III) précurseur de l'indigo est alors obtenu (figure 13).

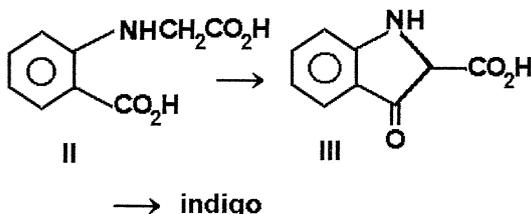


Figure 13

On peut remarquer que la plupart des méthodes de synthèse de l'indigo font intervenir deux substances contenant le noyau indole (figure 14) l'**Isatine** ou l'**Indoxyle**.

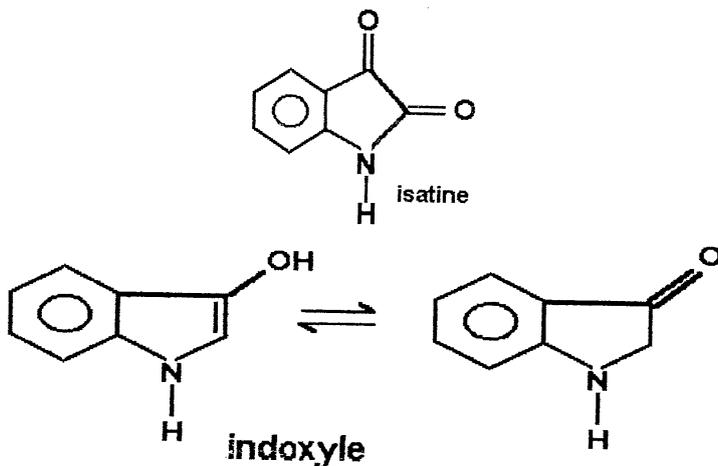


Figure 14

### 3. PRÉPARATION INDUSTRIELLE DE L'INDIGO ACTUELLEMENT

Aujourd'hui, on fabrique industriellement l'indigo en partant de l'aniline : (extrait de Chimie des couleurs et des odeurs - voir référence page 1237).

L'aniline est préparée, entr'autres méthodes, par réduction catalytique du nitrobenzène par le dihydrogène en phase gazeuse. Dans ce cas, le nitrobenzène est préchauffé vers 180°C, partiellement vaporisé puis est additionné de dihydrogène dans des proportions molaires dihydrogène/nitrobenzène de 9/1. Le mélange gazeux ainsi obtenu est introduit à la base d'un réacteur d'hydrogénation à lit fluidisé de catalyseur, constitué de cuivre déposé sur de la silice.

L'aniline subit ensuite (figure 15) l'action conjuguée du méthanal en milieu acide ( $\text{HSO}_3^-$ ) et du cyanure de sodium ; le N-phényléthyl nitrile (A) est obtenu. Ce dernier subit alors une hydrolyse basique afin d'obtenir le N-phényléthanoate de sodium (B). Le composé (B) est enfin cyclisé en

isatine grâce à l'action de l'amidure de sodium dans l'ammoniac liquide suivant un mécanisme réactionnel délicat :

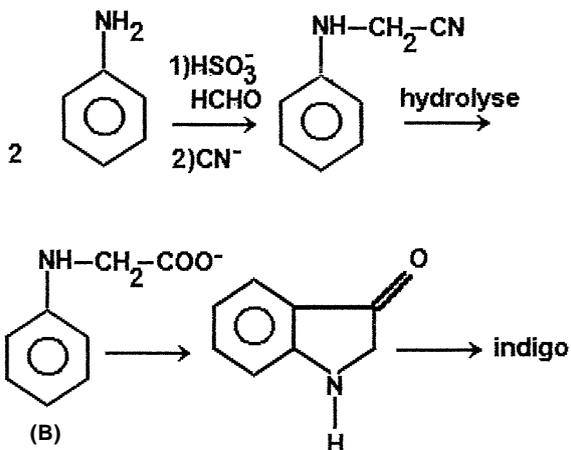


Figure 15

#### 4. UTILISATION DE L'INDIGO EN TEINTURE

##### 4.1. Procédé courant

L'indigo est un colorant de cuve. Il est insoluble dans l'eau et la plupart des solvants ; on ne peut donc pas fabriquer directement de teinture. On utilise alors une forme réduite, soluble dans l'eau, appelée leucodérivé, que l'on doit préparer juste avant usage, car il s'oxyde à l'air. Ce leucodérivé est incolore car le chromophore (figure 3) est partiellement hydrogéné et la conjugaison plus limitée. Après en avoir imprégné les tissus, le leucodérivé est oxydé à l'air et on retrouve la coloration bleue de l'indigo emprisonné alors dans les fibres (figure 16).

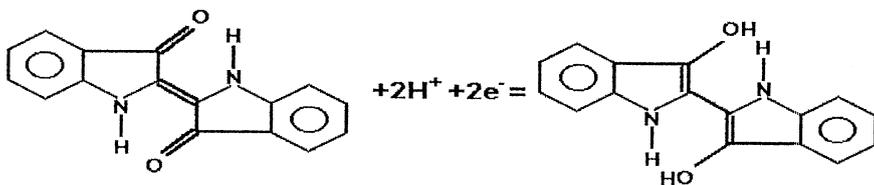


Figure 16

Divers réducteurs sont utilisés :

- dans les procédés anciens, le milieu réducteur était engendré par la décomposition des matières organiques,
- les ions  $\text{Fe}^{2+}$ ,
- les ions hydrogénosulfite  $\text{HSO}_3^-$ ,
- les ions dithionite  $\text{S}_2\text{O}_4^{2-}$ ,
- le glucose avec sa fonction aldéhyde.

La teinture par l'indigo convient à de nombreuses fibres, en particulier la laine, la soie, le nylon et surtout le coton. La forme leuco s'associe par liaisons ioniques avec la laine et la soie et par liaisons hydrogène avec le coton. L'indigo formé par oxydation précipite à l'intérieur et à la surface des fibres. Comme il est insoluble dans l'eau, la teinture résiste au lavage mais elle est sensible à l'abrasion : ce qui explique le blanchiment des blue-jeans teints exclusivement avec de l'indigo. L'indigo et ses dérivés sont également utilisés comme pigments en peinture.

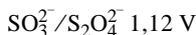
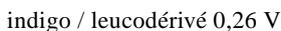
### ***Manipulation proposée***

(Extrait de Chimie des Couleurs et des Odeurs - voir référence page 1237).

Le réducteur utilisé est le dithionite de sodium en milieu faiblement basique (l'ion  $\text{S}_2\text{O}_4^{2-}$ ).

### ***Données***

Potentiels Standards apparents  $E'^{\circ}$  à 25°C et à pH = 14 :



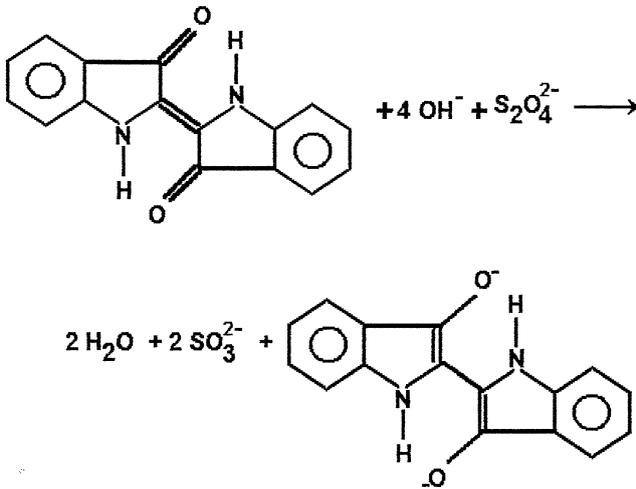
**Bilan de l'étape de réduction**

Figure 17

**Mode opératoire**

Durée : 15 minutes.

Matériel : Erlenmeyer avec bouchon - Divers échantillons de tissus blancs - Papier essuie-tout.

Produits : Indigo - Dithionite de sodium (nocif par ingestion) - Soude en pastilles (corrosif).

Protocole expérimental : Dans un erlenmeyer, dissoudre 0,5 g de dithionite de sodium dans 40 cm<sup>3</sup> d'eau chaude avec une pastille de soude en se protégeant les yeux. Ajouter 0,1 g d'indigo et boucher l'erlenmeyer avant d'agiter sinon la forme leuco de l'indigo est réoxydé par l'oxygène de l'air en indigo. Agiter la solution pendant quelques minutes jusqu'à ce que l'indigo soit dissous. La solution de la forme leuco a une teinte verte. Ajouter plus de dithionite de sodium si l'indigo n'est pas entièrement dissous. Immerger un échantillon de tissu dans la solution à l'aide d'un agitateur en verre. reboucher l'erlenmeyer et agiter la solution. Après environ trente secondes, retirer l'échantillon, le laver sous le robinet, le presser entre deux feuilles de papier essuie-tout, le laisser à l'air libre pour le sécher et pour permettre l'oxydation de la forme leuco par l'oxygène de l'air. Noter et comparer les résultats obtenus pour différents échantillons de tissus.

#### 4.2. Procédé de teinture BADER

Ce procédé permet d'éviter la réduction de l'indigo en cuve au moment de la teinture. On prépare un leucodérivé soluble, stable à l'air appelé Indigosol. Ce dernier est préparé à partir de la forme leuco acidifiée par le dioxyde de carbone à l'abri de l'air. Cette forme acide est soumise ensuite à l'action de l'acide chlorosulfonique (chlorhydrine sulfurique)  $\text{ClSO}_3\text{H}$  en présence de pyridine puis on passe en milieu basique. L'indigosol stable est obtenu (figure 18).

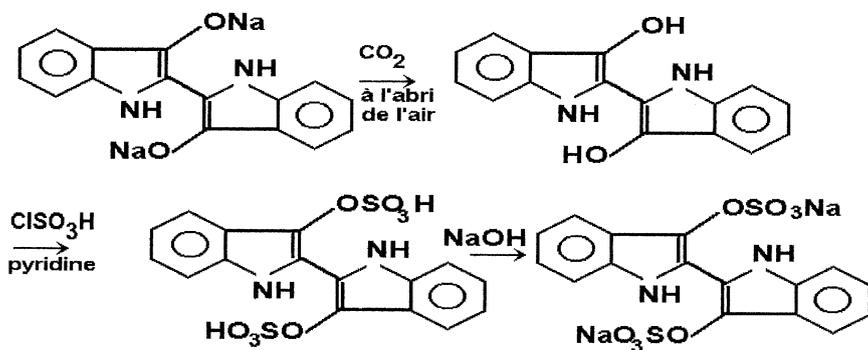


Figure 18

Pour la teinture, l'indigosol est mis en solution dans l'eau ; la fibre est imprégnée, puis le leucodérivé est décomposé et oxydé sur fibre par les ions  $\text{Fe}^{3+}$  en milieu légèrement acide.

Conclusion : L'indigo fut le premier grand succès de BASF. Malgré tout, quelques perturbations dues, d'une part à la concurrence, d'autre part aux problèmes de débouchés nés des deux guerres mondiales apparaissaient. BASF se préparait à arrêter la production quand l'Europe succombait à la mode des **blue-jeans**. Aujourd'hui, BASF est à nouveau le plus grand producteur d'indigo du monde et l'indigo, seul colorant «naturel» pour lequel l'industrie ait montré un net intérêt, est redevenu un des colorants importants du groupe.

## *Annexe 2*

### *Les Acides Gras Essentiels (A.G.E.)*

---

Les Acides Gras Essentiels (A.G.E.) sont trouvés dans la *nature* exclusivement sous forme de triglycérides dans l'huile extraite des graines par exemple de COLZA, de TOURNESOL, de PASTEL.. (figure 19).

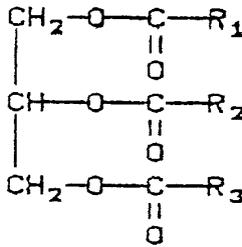
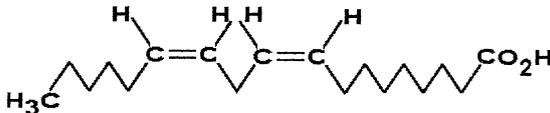


Figure 19

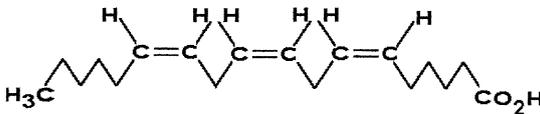
Les acides gras essentiels se singularisent dans la famille des acides gras par un degré d'insaturation supérieur à 1 (2,3 doubles liaisons pour les acides gras majoritaires) et un nombre d'atomes de carbone compris entre 18 et 22. Parmi eux se distinguent (figure 20) :

- l'**acide linoléique** (octadeca-9,12-diénoïque),
- l'**acide  $\gamma$  linoléique** (octadeca-6,9,12-triénoïque),
- l'**acide  $\alpha$  linoléique** (octadeca-9,12,15-triénoïque).

La configuration de chaque double liaison est Z.



acide linoléique



acide  $\gamma$  linoléique

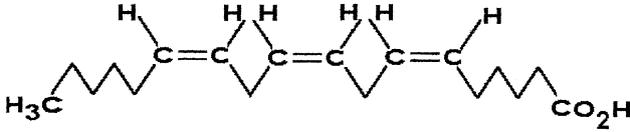
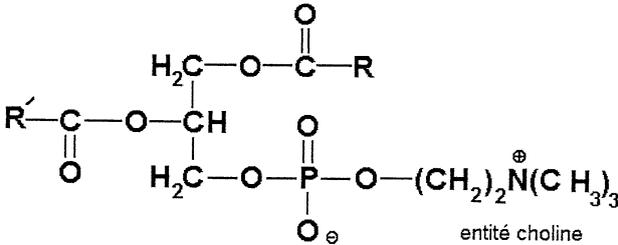
acide  $\alpha$  linoléinique

Figure 20

Ce sont, aujourd'hui des molécules qui occupent l'actualité dans la mesure où elles ont un rôle particulièrement important au niveau des organismes animaux. Elles servent principalement à l'élaboration des **PHOSPHOGLYCÉRIDES** (figure 21) et des **STÉRIDES** ou **ESTERS** de **CHOLESTÉROL** (figure 22) des membranes cellulaires. Ils peuvent être représentés ainsi :



un phosphoglycéride

Figure 21

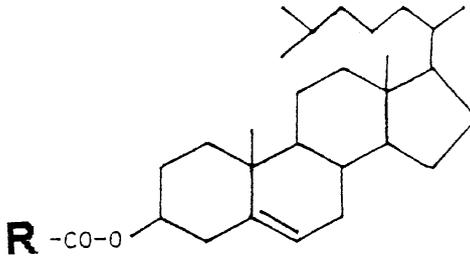


Figure 22

Ces molécules de phosphoglycérides comportent deux longues chaînes hydrophobes d'acides gras et un groupe de tête qui est polaire (le substituant phosphate et l'entité choline). Il leur est possible de former des micelles en solution aqueuse mais surtout ces phosphoglycérides peuvent s'assembler en formant un feuillet bimoléculaire appelé

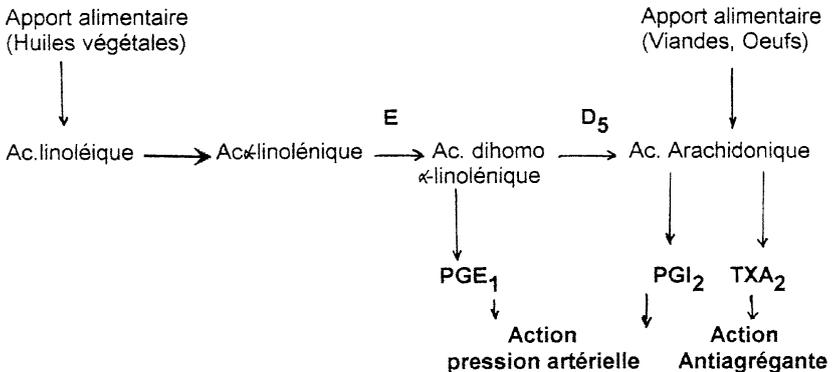
**double couche lipidique** pouvant atteindre une longueur de 1 mm. De ce fait, ces dernières représentent des constituants idéaux des membranes cellulaires ; elles jouent le rôle de barrières de perméabilité et contrôlent ainsi le transport des molécules entre l'intérieur et l'extérieur de la cellule.

### *Rôle structural*

Les A.G.E. sont donc des constituants importants des lipides membranaires par leurs propriétés morphologiques liées à leur caractère insaturé.

Chaque double liaison de configuration Z introduit en effet une courbure dans la chaîne de l'acide gras qui augmente l'encombrement spatial des PHOSPHOGLYCÉRIDES des membranes cellulaires participant ainsi largement à la perméabilité et la fluidité membranaire

Une carence en A.G.E. va donc modifier la structure membranaire et la première manifestation biologique est d'ordre cutané avec des lésions qui peuvent être corrigées par application de composés à base d'acides gras polyinsaturés à longues chaînes comme par exemple la vitamine F.



**E** : Élongase

**D** : Désaturase

**PGE<sub>1</sub>** : Prostaglandine

**TXA<sub>2</sub>** : Thromboxane

**PGI<sub>2</sub>** : Prostacycline

**Figure 23** : Biosynthèse des Prostanoides à partir des Acides Gras Essentiels.

### Rôle fonctionnel

Les molécules d'A.G.E. jouent également un grand rôle dans la biosynthèse des **PROSTANOÏDES** (figure 23), hormones dérivées de l'acide prostanoïque (figure 24). Ces dernières se subdivisent en PROSTAGLANDINES, THROMBOXANES et PROSTACYCLINES. Les premières abaissent la pression artérielle tandis que les deux autres modulent l'agrégation plaquettaire.

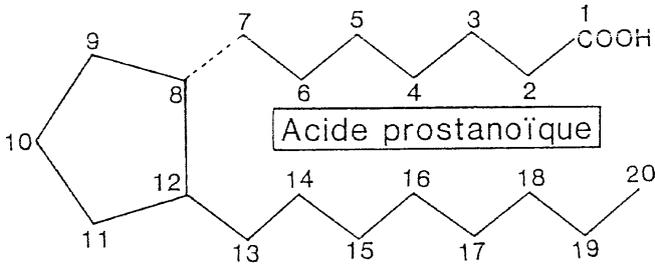


Figure 24

### CONCLUSION

*L'HOMME, comme l'animal, est incapable de synthétiser les acides gras polyinsaturés et ce n'est que par une alimentation variée qu'il peut trouver les quantités d'A.G.E. indispensables à son organisme.*

L'apport quotidien de 10 à 15 g. d'acide linoléique et 1 à 2 g. d'acide  $\alpha$ -linoléique permet à l'homme sain d'éviter un grand nombre de maladies des civilisations modernes, des troubles cardio-vasculaires à l'hypertension...

### *Annexe 3*

### *L'indigotine*

---

L'appellation «indigotine» désignait le colorant obtenu à partir du pastel ; nous savons aujourd'hui qu'il s'agit de la molécule d'indigo.

Toutefois cette appellation est restée au plan commercial pour désigner un colorant alimentaire connu sous la norme E 132, également appelé «carmin d'indigo» (figure 25). Ce colorant est employé en pâtisserie, confiserie pour les glaces et fruits confits.

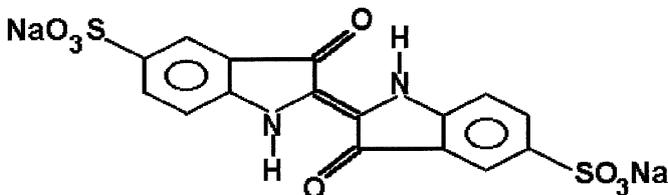


Figure 25

#### BIBLIOGRAPHIE

- [1] Patrice Georges RUFINO : *«Le Pastel - Or bleu du pays de Cognac»* - Éditions Daniel Briand - 1991.
- [2] Naïma IBA : *«Les esters d'acides gras polyinsaturés d'Isatis Tinctoria»* - Thèse de Doctorat de l'I.N.P. de Toulouse - 27 juin 1990.
- [3] M. CAPON, V. COURILLEAU-HAVERLANT et C. VALETTE : *«Chimie des couleurs et des odeurs»* - E.N.S. Cachan - Cultures et Techniques - janvier 1993 (23, rue du Recteur Schmitt - Nantes).
- [4] M. CRAM et M. HAMMOND : *«Chimie Organique»* - Les Presses de l'Université Laval Québec - 1963.
- [5] M. REICHERT : *«Chimie Organique»*.
- [6] Encyclopédia Universalis.
- [7] Jacques ANGENAULT : *«Dictionnaire de Chimie»* - Dunod.

- [8] M. WILLEMART et M. CHAUX : «*Les grandes fonctions de la Chimie Organique et leurs principales applications*» - Dunod.
- [9] M. VOLLHARDT : «*Chimie Organique*» - Éditions Universitaires.
- [10] J. DELAUNAY : «*Biochimie*» - Hermann.
- [11] J.-M. BOURRE : «*Les Bonnes Graisses*» - Éditions Odile Jacob.