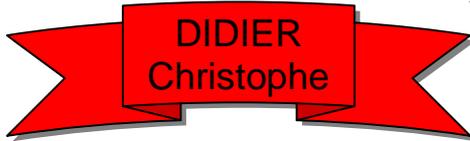


Le Sodium

Chimie au Quotidien
Mr D. Billaud



Le Sodium

Introduction

Aujourd'hui, le sodium est un élément très utilisé dans l'industrie chimique de par ses nombreuses applications. Historiquement, la majorité de la production de sodium n'avait qu'une utilisation restreinte. Il a fallu attendre ces dernières années pour que le Sodium puisse être utilisé en grandes proportions dans les industries chimiques ; c'est une des matières premières dans la métallurgie, les industries pharmaceutiques, et les industries pétrolières.

Le nom de Sodium a été attribué par **J-J. Berzelius** par le fait que cet élément apparaît dans la soude, nommée par les Grecs "*nitron*" et plus tard par les Arabes par le terme "*natrun*". Le terme Anglais Sodium a été attribué par **Sir H. Davy** qui a isolé l'élément. Il a désigné du nom de soude une substance sodée importante, qui était déjà utilisée dans l'Antiquité à titre de détergent et dont le nom provient du Latin "*sodanum*", ce qui signifie "remède contre les céphalées".

C' est le quatrième élément le plus abondant sur la Terre, il représente 2,63 % de la croûte terrestre sous ses formes combinées.

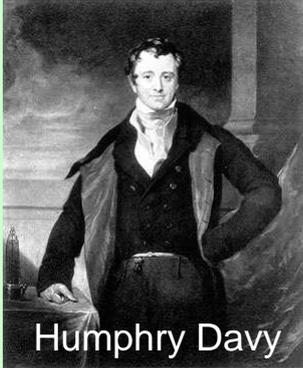
Sommaire

<i>Introduction</i>	1
I_ L'élément	3
A. Découverte et premiers travaux	3
B. Matériau	3
1) Carte d'identité : le Sodium en chiffres	4
2) Aspect	4
3) Propriétés Physiques et Chimiques	5
C. Santé et environnement	5
1) Effets sur la santé	5
2) Effets sur l'environnement	6
II_ Production	6
A. Anciens procédés	6
1) Procédés de réduction thermochimique : Procédé de Deville	7
2) Procédés de réduction électrolytique : Procédé de Castner	7
B. Procédés actuellement utilisés	7
1) Origine	7
2) Cellule de Down	8
III_ Applications	9
A. Principales applications	9
1) Batteries Na-S	9
2) Sel de cuisine	9
3) Carbonate de soude	9
4) Verre	10
5) Airbags	10
6) Cosmétiques	10
7) Savons	11
8) Applications diverses	11
B. Lampes à vapeur de Sodium basse pression (SOX)	11
1) Principe	11
2) Conditions du support	12
3) Migration du Sodium	14
4) Platine d'alimentation	14
5) Allumage	16
6) Avantages et défauts	16
<i>Conclusion</i>	19
<i>Bibliographie</i>	20

I_ L'élément

A. Découverte et premiers travaux

Le sodium métal fut découvert en Angleterre par **Sir Humphry Davy** en 1807. Une série d'expériences sur l'effet du courant électrique sur le potassium et la soude ont mené à l'isolation du potassium métallique en Octobre de cette même année et du sodium quelques jours plus tard. Davy annonça sa découverte dans son second "*Bakerian Lecture*" avant la *Royal Society* à Londres le 19 Novembre 1807.



Humphry Davy

Études et carrière professionnelle

Davy travaille comme préparateur en pharmacie de 1797 à 1798 où il apprend la chimie de lui-même. De 1798 à 1801, il travaille comme assistant à la *Pneumatic Institution* à Bristol où il découvre les propriétés physiologiques du gaz hilarant (oxyde azoteux). En 1801, il est nommé maître de conférences et directeur de la *Royal Institution*. En 1802, il devient professeur et en 1820 président de la *Royal Society*. Son élève le plus connu est **Michael Faraday**.

Travaux les plus marquants

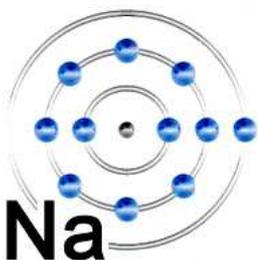
Ses conférences à la *Royal Institution* sont devenues célèbres. Il enchaîne également des découvertes importantes, entre autres celles des éléments sodium, potassium, magnésium, calcium, strontium, baryum et bore purs, qu'il isole par électrolyse. Il devient ainsi un des fondateurs de l'électrochimie.

Il prépare divers composés du phosphore, démontre que le chlore est un élément et détermine la formule pour le chlorure d'hydrogène. Ses nombreux mérites lui vaudront d'être anobli.

À partir des travaux de Davy, **Gay-Lussac** et **Thernard** préparent du sodium en faisant réagir de la soude avec du fer chaud.

Le sodium devient alors une véritable curiosité dans les laboratoires jusqu'à ce que **Oersted** trouve en 1824 que le sodium pouvait réduire les chlorures d'aluminium pour donner de l'aluminium pur. **Deville** et **Castner** ont travaillé sur des procédés permettant de produire du sodium à faible coût. Il servira alors de qui servait de matière première pour l'industrie de l'aluminium.

Aujourd'hui, les processus utilisés par les industries du Sodium ont été développés par l'équipe de **Down** et remplacent la cellule de **Castner**. Le prix du sodium est alors passé de \$2,00 par livre (1 livre = 453,6 g) en 1890 à \$0,16 par livre en 1953. Cela fait du sodium le métal le moins cher de sa catégorie et est, justement utilisé comme matière première dans de nombreuses industries chimiques.



B. Matériau

La configuration électronique du sodium est $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$. Il fait donc partie de la famille des **alcalins**. Sa couche de valence ne contient qu'un électron, faiblement lié.



1) Carte d'identité : le Sodium en chiffres

Numéro atomique	11	Rayon atomique	191 pm
Symbole chimique	Na	Rayon covalent	154 pm
Abondance de l'élément dans la croûte terrestre	2,83%	1 ^{er} potentiel d'ionisation	496 kJ.mol ⁻¹
Famille de l'élément	Alcalins	2 ^{ème} potentiel d'ionisation	4562 kJ.mol ⁻¹
Electronégativité de Pauling	1,55	Affinité électronique	-53 kJ.mol ⁻¹
Structure électronique	[Ne] 3s ¹	Structure cristalline	Cubique centrée
Susceptibilité magnétique	201	Rayon ionique (état +I)	97 pm
Conductivité électronique	21,1	Potentiel redox E° à T=298K (état +I)	-2,713
Etats d'oxydation les plus fréquents	+I	Masse volumique	0.97
Autres états d'oxydation possibles	aucun	Etat de la matière à T=298K	solide
Température de fusion	1517K	Enthalpie $\Delta_{\text{fus}}H^0$	2,6 kJ.mol ⁻¹
Température d'ébullition	2235K	Enthalpie $\Delta_{\text{éb}}H^0$	97,9 kJ.mol ⁻¹

2) Aspect

Le sodium métallique est solide à température ambiante. Fraîchement coupé, il arbore un aspect argenté commun aux métaux, mais il devient rapidement gris au contact de l'air à cause d'une oxydation rapide. Il est très malléable et peut être coupé avec un fil à couper le beurre ...



► Pourquoi est-il solide à température ambiante ?

Si l'on empile plusieurs atomes d'un même élément dans leur état fondamental on essaye de réaliser un **métal** ; ces atomes mettent en commun les électrons de leur couche de valence pour créer un nuage électronique qui circule le long du métal et qui permet aux atomes en moyenne de respecter la règle de l'octet soit par le gain soit par la perte de ses électrons.

Si les répulsions entre les atomes ne sont pas trop grandes et si l'énergie de cohésion apportée par le métal est suffisante alors on a assez de forces de liaison entre les atomes pour avoir un solide à température ambiante (où il n'y a pas assez d'énergie apportée pour rompre les énergies de liaison).

D'abord le sodium est volumineux et n'a qu'un seul électron sur sa couche de valence ce qui fait que les nuages réciproques de deux atomes voisins ne se repoussent pas trop car les deux électrons ont très peu de chances de se retrouver l'un près de l'autre.

De plus si l'on devait imaginer un recouvrement des nuages électroniques selon un diagramme d'orbitale moléculaire, l'on ne remplirait que des orbitales à fort caractère liant car chaque atome n'apporterait qu'un électron et que comme l'on

remplit toujours les orbitales de plus basse énergie en priorité il ne resterait plus d'électron pour remplir les orbitales fortement antiliantes.

► Pourquoi montre-t-il une faible résistance mécanique ?

Même si les interactions sont suffisantes pour avoir un solide il n'en demeure pas moins qu'à cause de la grande taille des atomes le solide possède plein de vide et bien que chaque atome soit de coordination 8 les liaisons ne sont pas assez solides pour résister aux chocs.

3) Propriétés Physiques et Chimiques

Le sodium est moins dense que l'eau. Il flotterait, s'il n'explosait pas spontanément avec celle-ci ... Le sodium est un excellent conducteur d'électricité. C'est aussi un très bon conducteur thermique.

► D'où vient sa faible masse volumique ?

Encore une fois c'est le gros volume des atomes qui est la cause de ce constat. On a un volume très important pour un élément situé dans les premières lignes de la classification et donc avec peu de nucléons.

Le sodium est un **réducteur puissant**, important dans l'industrie chimique. Il réagit avec l'eau de manière explosive, car cette réaction est très exothermique et libère du dihydrogène, hautement inflammable. Cette réaction produit aussi de la **soude**, une substance essentielle en chimie.

Le sodium s'oxyde aussi spontanément à l'air libre. Les produits des réactions entre le sodium et l'hydrogène ou les halogènes trouvent des utilisations importantes en chimie, aussi bien organique qu'inorganique.

Le sodium et ses dérivés réagissent aussi avec un grand nombre de molécules organiques.

► Pourquoi le sodium est-il un bon réducteur ?

Tout simplement car il est très facile de perdre son électron pour revenir à une structure de type gaz rare Néon qui est très stable. C'est ce qui explique la faible taille de ce cation, proche de celle du gaz rare. En effet plus on se déplace vers la droite de la classification plus le nuage se ressert alors que l'on ajoute des électrons qui devraient se repousser les uns les autres : il y a bien répulsion entre les électrons mais comme à chaque fois que l'on ajoute un électron on ajoute un proton la charge perçue par chaque électron est bien plus importante et il est attiré. Quand on passe à une couche supérieure, la couche précédente d'électrons masque la charge du noyau perçue ; c'est pourquoi le rayon augmente énormément.

C. Santé et environnement

1) Effets sur la santé

Le sodium, sous forme ionique, est un élément vital pour l'organisme ; c'est l'électrolyte majoritaire, avec le chlore, dans le sang et les liquides interstitiels ($152,7 \text{ mEq.L}^{-1}$ dans le plasma sanguin et $145,1 \text{ mEq.L}^{-1}$ dans le liquide interstitiel). Le sodium permet ainsi de maintenir un milieu **isotonique**, c'est-à-dire dans lequel les cellules peuvent conserver leur forme et leur quantité d'eau.





Pictogrammes du sodium métallique et de la soude

Le sodium joue aussi un rôle important dans les échanges cellulaires. Le sodium étant absorbé par les cellules grâce à son gradient ionique, ces ions peuvent entraîner par **cotransport** d'autres molécules à l'intérieur de la cellule. Il peut aussi intervenir dans les transmissions nerveuses. Il permet de conférer à la membrane un **potentiel d'action** qui va être transmis à la prochaine cellule nerveuse.

Le sodium sous forme métallique est le plus dangereux pour la santé. Réagissant violemment avec l'eau pour former de la soude, le contact direct avec la peau peut entraîner des démangeaisons ou des rougeurs. Le contact avec les yeux ou l'ingestion du métal peut entraîner des brûlures importantes. Le travail avec le sodium peut entraîner la respiration de soude gazeuse, entraînant des symptômes qui vont de la toux jusqu'à des difficultés respiratoires.

C'est pourquoi lors d'utilisation de sodium sous forme solide, il convient de porter gants, lunettes et masques de protection afin d'éviter tout contact avec le corps, dans un environnement sec, ainsi qu'avec un extincteur de classe D (extincteur au sel) à portée de main.

Manipulation du sodium



Effet d'un petit bloc de sodium dans un lac



2) Effets sur l'environnement

Le sodium métallique réagissant violemment avec l'eau, il est évidemment dangereux de laisser du sodium solide dans la nature. Un morceau de sodium lancé dans un lac créerait une explosion.

Le sodium forme de la soude avec l'eau, une base forte. Disposé dans la nature, il pourrait contaminer les sols, détruisant la flore et, dans une certaine mesure, la faune qui se trouve à proximité de la source de sodium. La soude peut aussi augmenter le pH des cours d'eau, ce qui représente une menace pour les poissons.

II Production

A. Anciens procédés

Le sodium peut être extrait à partir de nombreux composés et par une multitude de voies possibles. Au XIX^e siècle, le composé le plus largement employé était l'hydroxyde de Sodium. Maintenant, les industries chimiques se sont basées sur le chlorure de Sodium, moins cher et plus abondant.

Les réductions thermochimiques étaient sans doute les réactions les plus employées dans la manufacture du Sodium. Mais depuis 1890, on n'utilise presque plus que les réductions électrolytiques.

1) Procédés de réduction thermochimique : Procédé de Deville

Le procédé de Deville utilise un mélange de carbonate de Sodium, du charbon et de la chaux, portés à haute température. Le sodium se condense alors dans un tube en fer. Cette méthode requiert beaucoup de temps et la durée de vie de l'équipement est courte à cause de la température nécessaire pour effectuer la réaction.

Ce procédé a été utilisé pendant 30 ans et atteignait une production *de 5 à 6 tonnes de Sodium par an*. Il existe de nombreux autres procédés que celui de Deville, qui utilisent d'autres composés et d'autres réducteurs, mais le principe reste le même.

2) Procédés de réduction électrolytique : procédé de Castner

Procédé de Castner

La matière première de la cellule de Castner est la **soude caustique**. Celle-ci réagit au niveau de la cathode pour former du sodium métallique, de l'eau et de l'oxygène. Le sodium métallique étant moins dense que l'eau, il est récupéré dans un collecteur situé au dessus de la cathode.

La cellule de Castner s'utilise à une température de 320 à 330 °C selon la pureté de la soude caustique utilisée. Une source extérieure de chaleur est nécessaire pour maintenir cette température. L'électrolyte de la cellule de Castner est constitué de chlorure de sodium pour augmenter sa conductivité électrique.

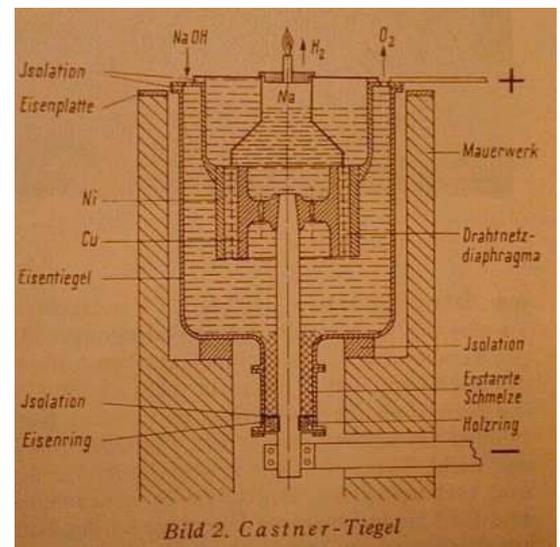


Bild 2. Castner-Tiegel

Ce procédé présente malheureusement de nombreux problèmes :

- ➔ Des réactions parasites avec l'air atmosphérique se produisent au niveau de ce collecteur provoquant de petites explosions et diminuant le rendement.
- ➔ La soude caustique provenant du commerce contient en faible quantité du chlorure de sodium et du carbonate de sodium. Lorsque la quantité de ces produits indésirables atteint un certain palier (18 % NaCl ; 8 % Na₂CO₃), le bain est déchargé et l'opération recommence en ajoutant à nouveau de la soude caustique.

La cellule de Castner fut développée et utilisée de 1891 à 1920 et était le seul procédé utilisé. La production du sodium métallique atteignait *15 000 tonnes par an*. Cette cellule a dû être abandonnée lors de l'arrivée de la cellule de Down dont la matière première est moins coûteuse (Chlorure de Sodium).

B. Procédés actuellement utilisés

1) Origine

Le produit de base de l'industrie du sodium est le chlorure de sodium. Il est extrait de la mer ou de mines (sel gemme).

2) La cellule de Down

Le sodium s'obtient par électrolyse de son chlorure en milieu fondu. Afin d'abaisser la température d'électrolyse, il est intéressant d'utiliser un mélange proche d'un eutectique. Le mélange universellement utilisé se compose de 46 % de BaCl_2 , 26 % de CaCl_2 et 28 % de NaCl fondant à 550°C et permettant d'opérer vers 600°C . L'électrolyse s'effectue dans une cellule de type **Down**.

► Assemblage de la cellule

Cette cellule comprend :

- ➔ Une cuve en acier revêtue intérieurement de briques réfractaires et calorifugée
- 4 anodes en graphite
- ➔ Une cathode annulaire en acier entourant les anodes
- ➔ Quatre diaphragmes en toiles métalliques situés entre les électrodes pour empêcher la recombinaison entre le sodium et le chlore
- ➔ Un collecteur qui est une sorte de cloche portant les diaphragmes, placé au dessus des anodes et recueillant séparément le sodium et le chlore

► Principe

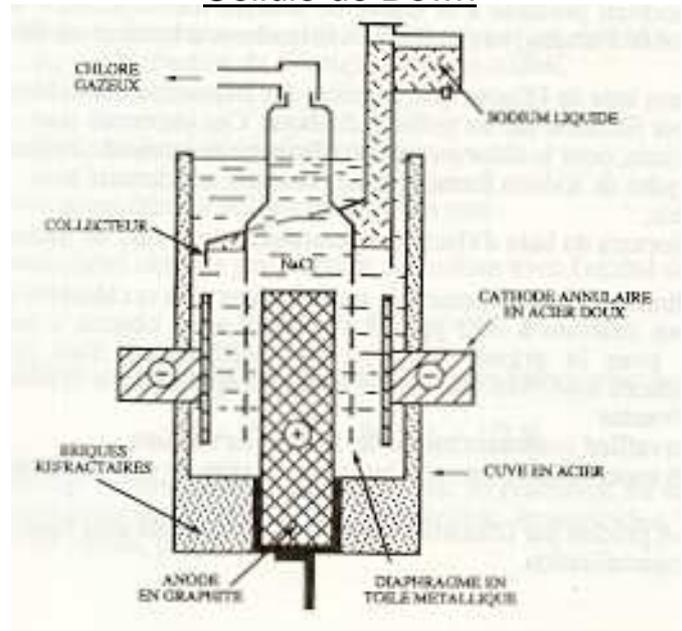
Le chlorure de sodium arrive en continu dans la cellule par une goulotte. Le débit est régulé de telle sorte que le niveau dans la cuve reste constant. Le chlore sort de la cellule par le centre du collecteur. Le sodium, moins dense que le bain d'électrolyse, remonte à la surface du bain où il est canalisé dans une tuyauterie. La grande différence de densité permet de faire remonter le sodium plus haut que la cuve d'électrolyse et de le conduire dans un conteneur hors de la cellule.

► Rendement

Une cellule produit *830 kg de sodium et 1300 kg de chlore par jour*. La tension est fractionnée en deux parties : une partie permet d'effectuer la réaction électrolytique et l'autre partie maintient la cellule à 600°C par effet Joule lors de la conduction à travers le sel qui agit alors comme une résistance. Ce type de cellule est dite "autochauffante". La température d'électrolyse peut être modulée par la mise en service de circuits de refroidissement par circulation d'eau dans le fond de la cellule.

Ce procédé permet de convertir 97,5 % de matière première en produits (Sodium et Chlore). Le chlore produit par l'électrolyse est filtré, lavé, séché, puis liquéfié en vue de sa commercialisation.

Cellule de Down



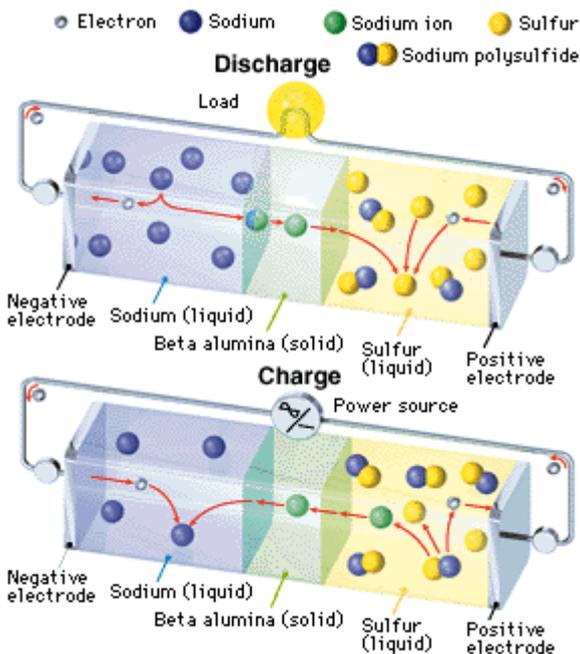
► Purification

Le sodium issu de l'électrolyse contient des impuretés insolubles qui sont éliminées par filtration sur un treillis métallique. Ces impuretés sont : du *calcium*, dont le chlorure est partiellement électrolysé (environ 6 %), des *oxydes de sodium* formés par des contacts accidentels avec l'atmosphère et des *chlorures* du bain d'électrolyse entraînés par le flux de sodium

III Applications

A. Applications générales

1) Batteries Na-S



Du sodium liquide est employé dans les **batteries sodium-soufre**. Cette batterie ne fonctionne qu'à température élevée (au dessus de 300°C).

L'électrode négative (d'où partent les électrons) est composée de sodium liquide, tandis que l'électrode positive contient du soufre. De la β -alumine joue le rôle de l'électrolyte. Ce sont les ions Sodium qui se déplacent dans l'électrolyte afin d'équilibrer les charges.

La tension fournie s'élève à **2,08 V**. Ce type de batterie fournit 5 fois plus d'énergie par kg qu'un accumulateur au plomb. La batterie est rechargeable, mais la recharge dure longtemps (15 à 20 heures).

Les cellules sont souvent assemblées pour former une grande batterie: 20 modules de 49 cellules chacun. La tension est alors de 200 V et la capacité s'élève à 50 kWh. Cette batterie est encore à l'état expérimental; dans ce contexte, la fourniture de courant pour la *propulsion d'un véhicule automobile électrique* est considérée comme une application possible.

2) Sel de cuisine

Le chlorure de sodium trouve des applications sous forme de condiment alimentaire, sous forme de sel industriel, sous forme de sel d'épandage, sous forme de solution physiologique en médecine et dans la régénération d'échangeurs d'ions (par exemple dans le lave-vaisselle). Il sert entre autres de matière première pour la fabrication de la soude et du chlore. Le chlorure de sodium est un des **conservateurs** les plus anciens.



3) Carbonate de soude

Le carbonate de soude (Na_2CO_3) est fabriqué à partir du sel de cuisine.

La plupart du temps, cette fabrication a lieu via le **procédé de Solvay**. Dans ce procédé, on met en présence de l'ammoniac et du dioxyde de carbone dans une solution saturée de chlorure de sodium ; on obtient alors des sels de chlorure

d'ammonium, ainsi que de l'hydrogénocarbonate de sodium (NaHCO_3). On sépare et on chauffe l'hydrogénocarbonate de sodium pour obtenir du carbonate de sodium, avec production d'eau et de dioxyde de carbone. On régénère ensuite les réactifs avec du carbonate de calcium.

Une partie de l'hydrogénocarbonate de sodium formé représente un produit final et est utilisée entre autres comme **levure chimique**. La production mondiale de soude s'élève à environ 100×10^6 tonnes par an. Approximativement 40 % de cette quantité est de la "soude naturelle".

50 % de la production de carbonate de soude est utilisée dans l'industrie du verre. La soude est en outre utilisée dans *l'industrie chimique, dans l'industrie des détergents, dans la pétrochimie, dans l'industrie de la soie et des textiles synthétiques, dans l'industrie des produits de nettoyage, dans l'industrie de fabrication de l'aluminium et de l'émail, et dans l'industrie alimentaire.*



4) Verre

Le verre est fabriqué - déjà depuis des siècles - en faisant fondre du sable (SiO_2) avec du carbonate de calcium (CaCO_3) et du carbonate de sodium (carbonate de soude Na_2CO_3). La matière obtenue, c'est-à-dire le verre, est dure et transparente. En ajoutant d'autres oxydes, on peut conférer au verre une propriété ou une couleur spécifique.

5) Airbags

Le système d'airbag dans un véhicule automobile est constitué de trois éléments: un détecteur électronique qui enregistre une collision, un générateur de gaz avec un mélange goupillé de produits chimiques et un sac en nylon qui peut être gonflé en un éclair avec de l'azote.

Dans le générateur de gaz, on trouve un mélange d'azide de sodium (NaN_3), de nitrate de potassium (KNO_3) et de dioxyde de silicium (SiO_2). Lorsque le détecteur signale une collision, on obtient un déclenchement par voie électrique.

Lorsque la réaction s'est déclenchée, l'azide de sodium se décompose, et on obtient de l'azote et du sodium. Le sodium formé réagit à son tour avec le nitrate de potassium et on obtient encore de l'azote. Les derniers produits formés par ces réactions se neutralisent en formant du verre.

L'ensemble de la réaction et le gonflage de l'airbag en nylon se déroulent en *quelques millisecondes*.



6) Cosmétiques

Divers composés du sodium trouvent une application dans les produits cosmétiques :

→ Le **borax** (Na_2O , $2\text{B}_2\text{O}_3$, $10 \text{H}_2\text{O}$) est utilisé comme agent antimicrobien.

→ Le **sel de sodium** de l'acide thioglycolique ($\text{HS}-\text{CH}_2-\text{COONa}$) et le sulfure de sodium (Na_2S) sont utilisés dans des dépilatoires.

→ L'**hydroxyde de sodium** est utilisé pour le défrisage des cheveux et comme préparation dépilatoire (solution avec un pH jusqu'à 12,7).

→ Le **fluorure de sodium**, le fluorophosphate de sodium et le fluorosilicate de sodium sont ajoutés à des produits pour l'hygiène buccale ; le sulfate de sodium est utilisé comme agent moussant dans des dentifrices.

→ Le **nitrite de sodium** est utilisé comme "ralentisseur de la corrosion".



7) Savons

On prépare du savon par hydrolyse des graisses avec une solution d'hydroxyde de sodium. On obtient des sels d'acides gras (savons) et du glycérol. Avant de pouvoir mettre un savon sur le marché, on doit encore lui ajouter diverses substances, entre autres des colorants et des substances odorantes.



On désigne des savons qui sont préparés à partir de graisses la plupart du temps par l'expression "vrai savon". Pour les savons synthétiques et pour les détergents synthétiques, on utilise le sel de sodium d'acides sulfoniques ($C_nH_{2n+1}SO_3Na$).

L'effet **tensioactif** des deux savons s'appuie sur la présence d'une longue queue apolaire (hydrophobe) ($-C_nH_{2n+1}$) et d'une tête polaire (hydrophile) ($-COO^-$ et $-SO_3^-$).

8) Applications diverses

- ➔ Applications sous forme d'une substance indécomposable (élément) et sous forme d'alliage
- ➔ Préparation de (semi) produits pharmaceutiques
- ➔ Préparation d'indigo (bleu des jeans)
- ➔ Production de métaux, par exemple Ti, Zr (par réduction)
- ➔ Cellule photoélectrique (Na/Au)
- ➔ Catalyseur (polymérisation, entre autres du butadiène)
- ➔ Réfrigérants dans des réacteurs nucléaires (à l'état liquide; pour le réacteur rapide de type surgénérateur Super Phenix, on a besoin de 5600 tonnes de sodium)
- ➔ Napalm (natrium (= sodium) dans de l'huile de palme)

B. Lampes à vapeur de Sodium basse pression (SOX)

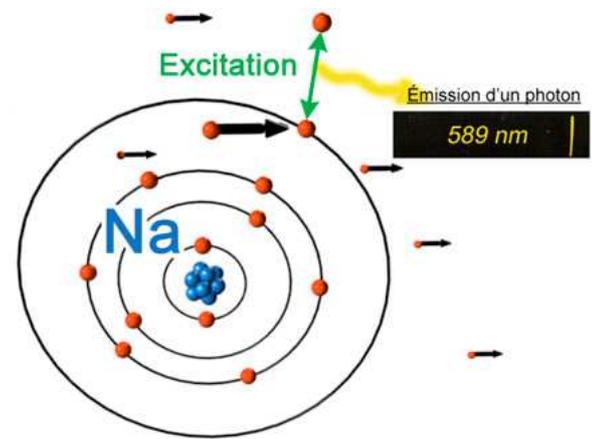
1) Principe

Les lampes à vapeur de sodium basse pression font partie des **lampes à décharge**. Le principe de ce type de lampe est de faire circuler un courant électrique à l'intérieur d'un gaz, ici le sodium, afin de produire de la lumière.

L'atome de sodium possède un seul électron sur sa couche de valence, faiblement lié (le sodium est facilement ionisable). Lorsque de l'électricité circule dans ce gaz, les électrons allant de l'anode à la cathode percutent les atomes de

sodium, les excitant ou les ionisant. L'électron retourne ensuite sur son orbitale, libérant un photon.

Dans le cas du Sodium, les photons émis ont des longueurs d'onde de **589 nm** et **589,6 nm** (jaune orangé). De plus, de la chaleur est libérée.

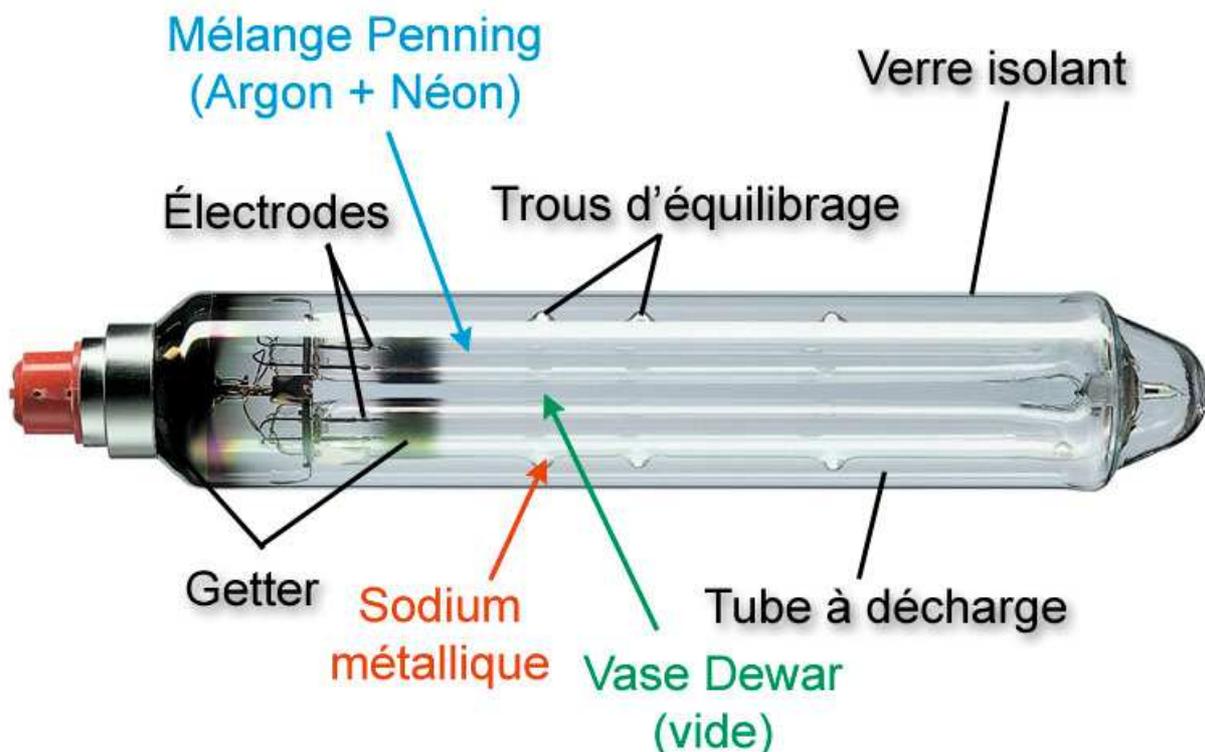


Le sodium doit être sous forme gazeuse pour que de la lumière soit émise. Il faut donc chauffer la lampe. La température optimale pour produire de la lumière à partir de gaz de sodium est **260°C**. De petites variations de températures peuvent avoir un effet important sur l'émission de lumière, c'est pourquoi il est important de contrôler précisément la température à l'intérieur de la lampe.

2) Conditions du support

Les lampes à sodium requièrent certaines conditions pour pouvoir fonctionner. Les composants de la lampes doivent supporter ces conditions et posséder des caractéristiques particulières.

Les principaux composants de la lampe



► Électrodes

Les électrodes sont un élément important pour les lampes à vapeur de sodium car elles affectent considérablement les performances et la durée de vie de la lampe. La cathode est recouverte d'un **émetteur thermoionique**, le plus souvent de l'*oxyde de Baryum*. Celui-ci permet la formation d'un arc électrique d'une électrode à l'autre, en émettant des électrons avec le moins de pertes possibles.

Lorsque la lampe est en fonctionnement, particulièrement lors de l'allumage, une partie de l'émetteur s'évapore et se dépose à l'intérieur du tube. Lorsqu'il n'y a plus assez d'émetteur, la platine d'alimentation (→ voir "Platine d'alimentation") doit fournir plus de courant pour que la lampe puisse s'allumer. C'est la fin de vie de la lampe.

► Getter

Le getter est un revêtement à l'intérieur du tube à décharge et du verre isolant, afin d'éliminer toute trace de gaz parasites, qui pourraient provenir d'une fuite ou d'une mauvaise élimination de l'air lors de la fabrication. On utilise couramment du *Baryum*, qui s'oxyde très facilement.

En maintenant le vide, le getter maintient ainsi la température à l'intérieur du tube, et évite la perte d'énergie dissipée par la lampe. Lorsqu'une fuite se produit, la lampe noircit car l'oxyde de baryum noir se dépose petit à petit le long du tube.

► Verre isolant

Le verre extérieur maintient, de manière évidente, le vide autour du tube à décharge. Cette configuration s'appelle un **vase Dewar**. La chaleur se transmettant de molécule à molécule, le vide évite les échanges de chaleur entre l'extérieur et l'intérieur de la lampe ; ce procédé est d'ailleurs utilisé dans les *bouteilles Thermos*.

Cela permet de préserver une température constante à l'intérieur du tube, et d'éviter que sa surface soit brûlante, ce qui pourrait gêner l'utilisation de certains matériaux autour de la lampe (matières plastiques ...).

L'intérieur du verre est recouvert d'*oxyde d'Indium*, un matériau qui réfléchit la lumière infrarouge, responsable de la chaleur, mais qui laisse passer la lumière visible. Cela permet un chauffage plus rapide de la lampe, diminuant ainsi l'énergie nécessaire pour la faire fonctionner.

► Trous d'équilibrage

Les trous d'équilibrage servent à maintenir les particules de sodium solides tout le long du tube pour augmenter la durée de vie de la lampe et améliorer le chauffage de la lampe. (→ voir "Migration du sodium")

► Tube à décharge

Le tube à décharge doit contenir du sodium, très réactif. Du verre normal noircirait rapidement ; on observe d'ailleurs ce noircissement chez certaines vieilles lampes. On recouvre donc l'intérieur du tube avec du *borate*, plus résistant au sodium. La raison pour laquelle le tube a une forme en U est simplement pour diminuer de moitié la longueur de la lampe, tout en chauffant autant de gaz de sodium.

L'intérieur du tube à décharge est rempli d'un mélange de gaz rares, appelé **mélange Penning**. On utilise généralement un mélange de *99% de Néon et 1% d'Argon*. Ces gaz assurent la conductivité de l'électricité, le temps que la lampe soit assez chaude pour que le sodium se soit évaporé.

Le fait d'ajouter un peu d'un autre gaz rare avec le premier augmente la conductivité du mélange. Celle-ci devient même supérieure à la conductivité de l'un ou l'autre gaz, lorsqu'ils sont purs. La puissance électrique requise pour démarrer la lampe est ainsi beaucoup plus faible.

On obtient un meilleur rendement lorsque le mélange est à une pression plus faible. En effet plus il y a d'atomes de gaz présents dans le tube à décharge, plus les atomes de sodium excités peuvent perdre leur énergie par collision, réduisant l'efficacité de la lampe. Cependant, la pression à l'intérieur du tube évite à l'émetteur thermoionique de s'évaporer, et donc aux électrodes de se détériorer. Il faut donc

trouver un compromis pour que la pression soit suffisante mais pas trop à l'intérieur du tube à décharge.

3) Migration du sodium

Un des problèmes majeurs de ce type de lampe est que le sodium a tendance à se déposer dans les endroits les plus froids du tube à décharge ; c'est la **migration du sodium**. Lorsque le sodium se dépose à ces endroits, plus difficiles à réchauffer, il faudra plus d'énergie avant que le sodium ne se trouve sous forme gazeuse, augmentant ainsi le besoin énergétique de la lampe.

L'**extrémité du tube en U** est une partie un peu plus froide du tube, car elle est moins isolée que le reste du tube. C'est pourquoi on augmente la quantité d'isolant thermique à cet endroit. En pratique, on diminue l'épaisseur du tube au niveau de la constriction, afin que les parois chauffent plus rapidement.

Le sodium peut aussi se déposer **derrière les électrodes**, une partie où l'électricité ne circule pas, ce qui est beaucoup plus gênant car à cet endroit du tube, la protection contre le sodium est la plus faible et une attaque chimique peut se produire. Cela cause souvent une cassure du tube, et pour cette raison les lampes à sodium ne doivent pas être secouées, ni utilisées avec les électrodes vers le bas.

Pour pallier à ce problème, le tube à décharge est parsemé de **trous d'équilibrage**. Ces petits interstices sont remplis de sodium solide lors de la fabrication. Cela permet au sodium d'être distribué de manière égale le long du tube et à proximité des endroits les plus chauds.

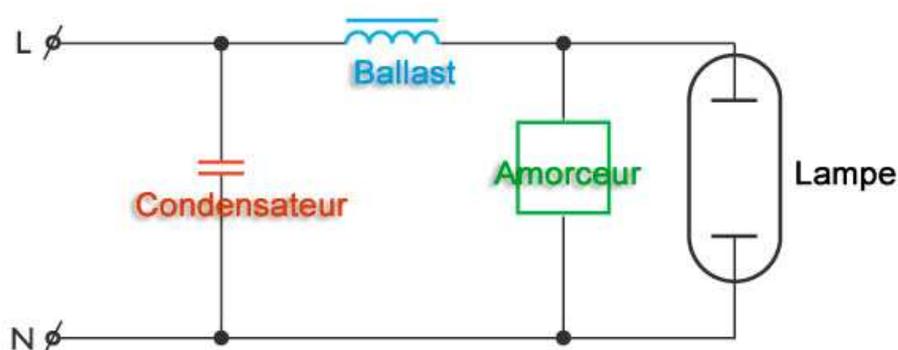
De plus, étant plus proches du bord de la lampe, ils sont un peu plus froids et donc le sodium a tendance à s'y redéposer, limitant ainsi le dépôt de sodium derrière les électrodes et augmentant ainsi sa durée de vie.

4) Platine d'alimentation

Il est important de maintenir une température précise à l'intérieur du tube pour que la lampe conserve une efficacité optimale. C'est pourquoi la tension fournie doit être constante. De plus, le sodium gazeux est un élément très conducteur. Ainsi, *plus il y a de sodium évaporé, plus la résistance à l'intérieur du tube à décharge diminue.*

Si l'électricité était fournie telle quelle, ou si un pic de tension se produisait, plus d'électricité passerait à l'intérieur du tube, augmentant la quantité de sodium gazeux, ce qui aurait pour effet de diminuer la résistance. Et ainsi de suite, ce phénomène augmentant de manière exponentielle, la lampe finirait par exploser. À l'inverse, une légère baisse dans le courant fourni diminuerait la quantité de gaz de sodium, et donc augmenterait la résistance, qui conduirait cette fois-ci à l'extinction de la lampe. Enfin, pour que la lampe puisse démarrer, une tension supérieure doit être appliquée à la lampe, car le mélange Penning est moins conducteur que le sodium.

Circuit de la platine d'alimentation



Il faut donc un appareillage capable de donner à la lampe une tension précise et stable, ainsi que la tension d'allumage. Ce système s'appelle **la platine d'alimentation**. Elle est composée d'un condensateur, d'un ballaste et d'un amorceur.

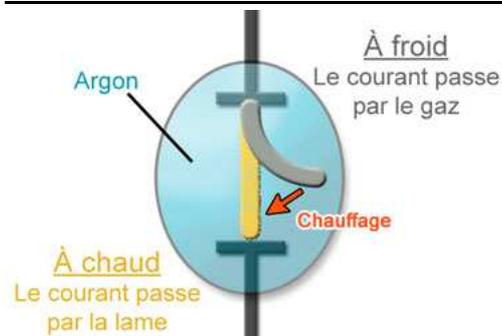
► Amorceur

L'**amorceur** permet à la lampe de démarrer, en provoquant un **pic de tension** lors de l'allumage de la lampe. Il est formé d'un petit tube rempli de gaz rare, souvent de l'*Argon*, et d'une lame bimétallique. Cette lame a pour particularité de se déformer lorsqu'elle est chauffée.

À froid, la résistance à l'intérieur du tube à décharge est trop élevée pour qu'elle puisse démarrer. L'électricité passe alors par le tube de l'amorceur, moins résistante puisque plus petit. L'amorceur a alors un rôle de résistance, convertissant l'électricité en chaleur. Celui-ci se met à chauffer et la lame bimétallique courbée se tend vers l'autre électrode.

Lorsqu'elle entre en contact avec l'électrode, le courant circule librement à travers l'amorceur. Le gaz n'étant plus excité, l'amorceur se refroidit. En même temps, les électrodes de la lampe s'échauffent et des électrons commencent à se libérer dans le tube à décharge. Lorsque la lame bimétallique se replie, cela libère un surplus d'électricité, suffisant pour que les électrons circulent dans la lampe et commencent à chauffer le mélange Penning. L'amorceur ne fait alors plus partie du circuit, sauf si la lampe s'éteint, prêt à la redémarrer.

Fonctionnement de l'amorceur

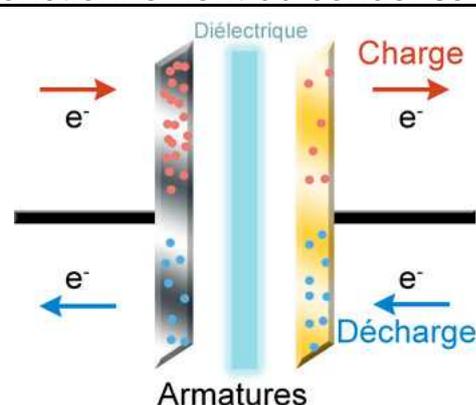


► Condensateur

Le **condensateur** est formé de deux armatures métallique séparées par un matériau diélectrique. Lorsque du courant circule, ses armatures se chargent, c'est-à-dire que l'une acquière des électrons, tandis que l'autre en perd. Une fois sa capacité maximale atteinte, il reste chargé tant qu'il est suffisamment alimenté en électricité.

Lorsque la tension se met à baisser brusquement, le condensateur prend en charge l'alimentation en électricité pendant un court instant, en se déchargeant, à la manière d'une batterie. Cela permet d'adoucir les baisses de tension parasites qui pourraient éteindre la lampe.

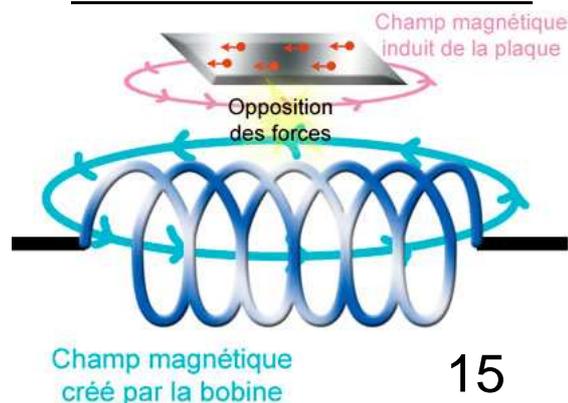
Fonctionnement du condensateur



► Ballaste

Le **ballaste** est formé d'une bobine de *cuivre*, entourée de petites plaques en *acier* placées perpendiculairement à la bobine. Le passage d'un courant dans la bobine entraîne la formation d'un champ magnétique autour de celle-ci. Les plaques d'acier, à l'intérieur de ce champ, se magnétisent à leur tour. On observe que le flux magnétique provenant de

Fonctionnement du ballaste



l'acier va dans le sens opposé du champ magnétique produit par la bobine.

Ces forces s'opposent, et cela a pour conséquence que le champ magnétique produit par la bobine devient défavorable à partir d'une certaine tension. Ainsi la tension ne peut plus dépasser une valeur maximale, l'énergie excédentaire étant convertie sous forme de chaleur.

5) Allumage

L'allumage d'une lampe à vapeur de sodium est progressif, et peut prendre jusqu'à 7 minutes. Une fois chaude, elle peut s'éteindre et se rallumer beaucoup plus rapidement.

Allumage progressif d'une lampe SOX



Lorsque l'interrupteur est fermé, ou lorsqu'une photodiode permet à la lampe de s'allumer dans le cas des lampes d'éclairage routier, l'amorceur (→ voir "Platine d'alimentation") envoie un pic de tension élevé, suffisant pour que l'électricité passe au travers de la lampe.

La lampe se met à éclairer d'une faible couleur rouge. Celle-ci est due à l'excitation des gaz rares du mélange Penning. La lampe devient alors de plus en plus chaude, grâce à la bonne conservation thermique des composants (→ voir "Conditions du support").

Le sodium commence à s'évaporer dans la lampe. Étant plus conducteur que les gaz rares, c'est lui qui devient excité et la lampe acquiert une couleur orangée. La résistance à l'intérieur du tube diminue de plus en plus et la tension du circuit augmente en même temps.

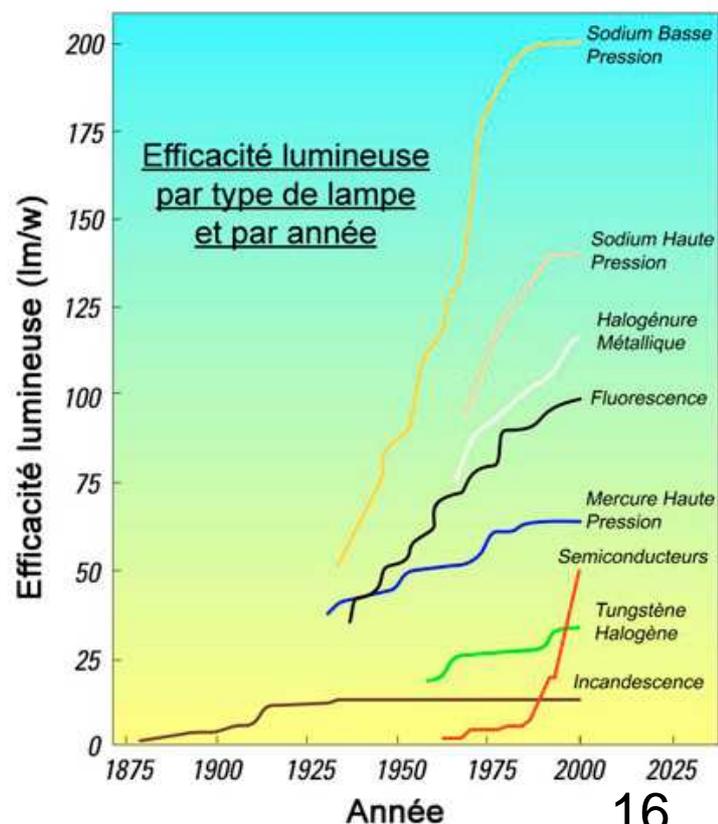
Lorsque le tube atteint une chaleur de 260°C, la lampe a atteint sa luminosité optimale. Elle a alors sa couleur jaune caractéristique. Le ballaste et le condensateur stabilisent la tension (→ voir "Platine d'alimentation").

6) Avantages et défauts

► **Efficacité lumineuse**

Le principal avantage des lampes à vapeur de sodium est leur efficacité lumineuse, qui est l'intensité de lumière émise (en lumen) par Watt d'électricité consommée. Ces lampes sont de loin celles qui ont la meilleure efficacité lumineuse, avec **200 lm/W**.

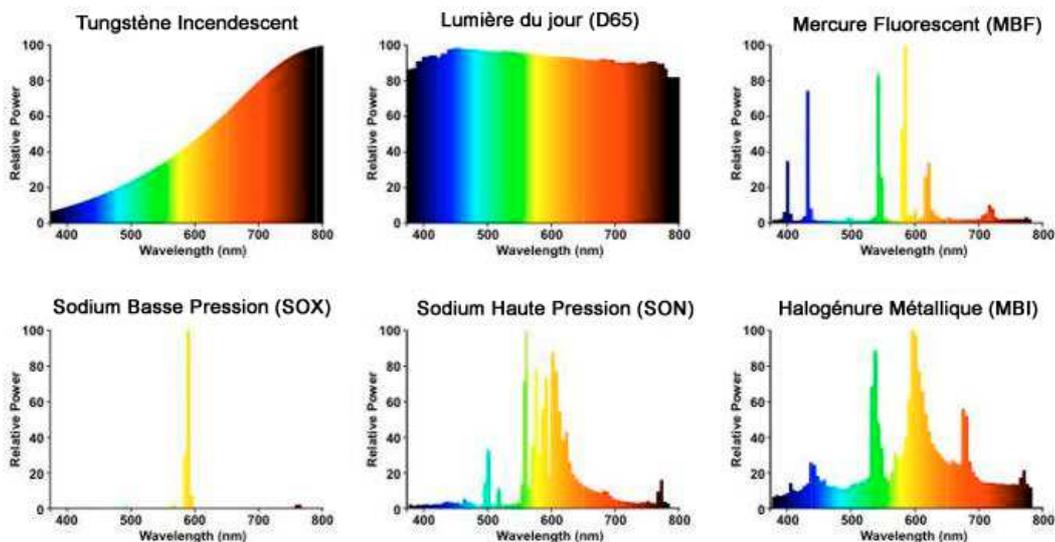
Cela permet d'économiser l'électricité consommée, ce qui n'est pas négligeable lorsque l'on veut appliquer ce type d'éclairage à un système routier. Dans la même idée, on peut produire des lampes très lumineuses, ce qui est là encore un point positif pour l'éclairage de nuit.



► Spectre d'émission

Le spectre d'émission des lampes à sodium n'est principalement composé que d'une raie jaune.

Spectres d'émission de différentes lampes



Cette particularité peut être mise à profit dans les observations télescopiques. En appliquant un filtre qui n'absorbe qu'à cette longueur d'onde, les astronomes peuvent facilement restaurer un ciel complètement noir.

Sa **monochromaticité** est aussi un avantage dans l'éclairage routier, en temps de brouillard ; les particules d'eau dans l'air agissant comme de petits prismes, on observe une image floue avec une lumière polychromatique. L'image sera toujours nette avec des lampes à sodium. De plus, la jaune est une couleur à laquelle l'œil est sensible, prédisposant encore un peu plus ce type de lampe pour l'éclairage routier.

Cependant le rendement des couleurs est très mauvais avec ce type de lampe. Même si cet inconvénient n'est pas très important pour éclairer les routes, cela peut être plus gênant pour l'éclairage en ville, et cela proscrit totalement son utilisation en intérieur.

► Inclinaison

Un des problèmes des lampes à sodium est la migration du sodium (→ voir "Migration du sodium"). Lorsque la lampe est utilisée plus ou moins verticalement, le sodium peut se déposer aux extrémités du tube à décharge, pouvant réduire sa durée de vie voire la rendre inutilisable. C'est pourquoi la lampe ne doit être utilisée qu'horizontalement.

► Mercure

Les lampes à sodium ne contiennent pas de mercure, un élément très toxique, contrairement à la plupart des autres lampes. Cela permet de les jeter en tant que déchet non-toxique évitant un surcoût de retraitement de ces déchets.

► Durée de vie

C'est sûrement le plus grand défaut des lampes à sodium ; leur durée de vie est la plus faible parmi les lampes à décharge. La plupart des installations existantes doivent être remplacées tous les deux ou trois ans, et il n'est pas rare qu'elles souffrent de mauvaise conception, ce qui implique un coût de maintenance.

Heureusement depuis 2003, un nouveau type de lampe à sodium basse pression (**SOX-PSG**) évite la plupart des pannes prématurées, et étend sa durée de vie jusqu'à 4 ou 5 ans.

Conclusion

Le sodium est un élément chimique possédant des propriétés physico-chimiques particulières. Il possède une excellente conductivité thermique et électrique qui le rendent applicable dans les lampes à sodium. Il réagit facilement avec de nombreux composés dont les produits sont très utilisés. La soude par exemple est une substance importante pour l'industrie chimique, aussi bien organique que minérale.

Le sodium est abondant et relativement peu coûteux. En effet, la matière première requise pour l'extraire, le Chlorure de Sodium, est une source presque inépuisable. La production de sodium métallique à partir du sel demande relativement peu de moyens et présente un excellent rendement.

Le sodium apparaît donc comme un élément couramment employé dans de nombreux domaines, allant de l'industrie verrière jusqu'au savons et cosmétiques sans oublier les batteries.

Bibliographie

Propriétés du Sodium :

<http://www.theodoregray.com/PeriodicTable/Stories/011.2/>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Sodium>

Applications et production du Sodium :

"*Sodium, its manufacture, properties and uses*" de Marshall Sittig (1956)

Lampes à vapeur de sodium :

<http://www.soxlamps.com/>

<http://www.lamptech.co.uk/Documents/SO1%20Introduction.htm>

<http://www.arcadia-uk.info/faq.php?action=view&pid=15&id=6&lan=fr>

<http://www.philips.com>