

# **BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE**

**Série : Sciences et Technologies de Laboratoire**

**Spécialité : Sciences Physiques et Chimiques en  
Laboratoire**

**SESSION 2016**

**Sous-épreuve écrite de sciences physiques et  
chimiques en laboratoire**

Coefficient de la sous-épreuve : 4

Ce sujet est prévu pour être traité en deux heures.

**Les sujets de CBSV et de sciences physiques et chimiques en  
laboratoire seront traités sur des copies séparées.**

*L'usage de la calculatrice est autorisé.*

Ce sujet comporte **10** pages.

# WATERGOOD

Si l'eau peut être présente en abondance dans certaines régions, elle n'est pas forcément potable. Elle est souvent le vecteur de maladies : bactéries, virus, parasites s'y déposent et s'y développent. Ces micro-organismes peuvent engendrer des pathologies graves.

Dans un village isolé, jusqu'à présent ravitaillé en eau potable par des camions, les habitants souhaitent installer une station de pompage.

Connaissant votre expérience dans ce type d'installation, l'association WATERGOOD vous demande d'étudier la mise en place du dispositif de production d'eau potable. Le puits et les réservoirs sont déjà fonctionnels.

L'énergie nécessaire au pompage sera apportée par une installation solaire photovoltaïque.



Source : <http://www.bregeon.net>

Vos missions sont donc désormais :

- de choisir le matériel de pompage et de fourniture d'énergie le plus adapté pour répondre aux besoins de la population locale,
- de choisir un système de purification d'eau pour répondre aux normes de salubrité et de consommation édictées par l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) parmi deux possibles.

Le sujet comporte 3 parties indépendantes.

## **PARTIE 1 : REALISATION DE LA STATION DE POMPAGE (6 POINTS)**

- A) Etude de la station de pompage
- B) Alimentation de la pompe par des panneaux photovoltaïques

## **PARTIE 2 : METHODES DE POTABILISATION DE L'EAU (11 POINTS)**

- A) Par chloration
  - 1) Production d'hypochlorite
  - 2) Dosage de la solution d'hypochlorite par étalonnage
- B) Par rayonnement ultra-violet

## **PARTIE 3 : CHOIX DE LA METHODE DE POTABILISATION DE L'EAU (3 POINTS)**

## PARTIE 1 – REALISATION DE LA STATION DE POMPAGE (6 points)

### A) Etude de la station de pompage

Votre expérience et les conditions climatiques favorables du lieu d'installation (ensoleillement) vous amènent à choisir la solution la plus efficace : le pompage photovoltaïque.

Il se compose d'une pompe alimentée par un ensemble de panneaux solaires photovoltaïques (**document 1**).

Le cahier des charges vous a donné les caractéristiques de la nappe aquifère locale dans laquelle va être pompée l'eau. Le **document 2** donne le niveau dynamique  $N_d$  de la nappe, c'est-à-dire la profondeur moyenne à laquelle l'eau se trouve selon les mois de l'année en fonction d'un pompage raisonnable. Les variations sont dues aux conditions de précipitations locales.

La profondeur de la nappe vous interdisant une pompe en surface, vous choisissez une pompe électrique immergée.

**1.A.1)** Pour quel mois de l'année le niveau dynamique  $N_d$  atteint-il sa valeur maximale ? Quelle est cette valeur ? En déduire la hauteur géométrique maximale  $z_{gmax}$  de la nappe aquifère (**documents 1 et 2**).

**1.A.2)** En utilisant la relation ci-dessous, vérifier que la hauteur manométrique totale  $H_{MT}$  maximale de la pompe est égale à 48 m.

#### Détermination de la Hauteur Manométrique Totale $H_{MT}$

Une donnée fondamentale pour dimensionner correctement une pompe est le calcul de sa  $H_{MT}$  (Hauteur Manométrique Totale). Cette grandeur exprimée en mètres se calcule comme suit :

$$H_{MT} = z_g + P_c$$

$z_g$  = hauteur géométrique entre le niveau de la nappe d'eau aquifère (niveau dynamique) et le dessus du réservoir

$P_c$  = pertes de charges générales produites par le frottement de l'eau sur les parois. Les pertes de charge sont estimées à 20 % de la hauteur géométrique  $z_g$ .

Le dessus du réservoir est à  $H_R = 2,20$  m au-dessus du sol.

**1.A.3)** Pour une année-type, calculer la moyenne  $M_S$  du nombre d'heures de plein soleil **par jour**. (**document 3**).

*L'évaluation de la consommation d'eau journalière pour le village est de  $14,1 \text{ m}^3/\text{jour}$ .*

**1.A.4)** Montrer que le débit volumique  $Q_v$  de la pompe devra être de  $2,1 \cdot 10^3 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$  en utilisant la moyenne  $M_S$  calculée à la question **1.A.3**).

**1.A.5)** Choisir la pompe la plus économique adaptée aux besoins en consultant la documentation du fournisseur (**document 4**) qui indique la  $H_{MT}$  maximale possible en fonction de la pompe et du débit. Justifier ce choix.

### B) Alimentation de la pompe par des panneaux photovoltaïques

*La pompe choisie précédemment absorbe une puissance  $P_A = 1,28 \text{ kW}$ .*

*La pompe est alimentée par un réseau alternatif 230 V – 50 Hz.*

*La tension fournie par les panneaux solaires photovoltaïques est continue.*

**1.B.1)** Quel est le rôle du convertisseur « onduleur » placé entre les panneaux photovoltaïques et la pompe ? (**document 1**)

**1.B.2)** Calculer la puissance  $P_F$  que devraient fournir les panneaux solaires photovoltaïques sachant que le rendement de l'onduleur est de 88%.

**1.B.3)** Le **document 5** est un tableau comparatif des panneaux actuellement disponibles sur le marché.

*La documentation-constructeur des panneaux photovoltaïques indique la Puissance Crête Totale ( $P_{CT}$ ). Mais en réalité, celle-ci n'est jamais atteinte, compte tenu de l'inclinaison des panneaux solaires, de l'efficacité du rayonnement solaire, des éventuelles salissures (poussières, ...) et des conditions minimales d'ensoleillement.*

*Dans la situation actuelle, pour obtenir la puissance souhaitée pour alimenter la pompe, la puissance crête totale  $P_{CT}$  doit être de 1,7 kW.*

- *Pour fonctionner correctement, l'onduleur doit être alimenté sous une tension minimale de 35 V.*
- *Les panneaux sont montés en parallèle.*
- *La surface maximale d'installation disponible est de 10 m<sup>2</sup>.*

Parmi les 4 modèles de panneaux photovoltaïques, choisir, en détaillant le raisonnement, celui susceptible de convenir.

## **PARTIE 2 – METHODES DE POTABILISATION DE L'EAU (11 points)**

### **A) Par chloration**

*La chloration est l'action de désinfecter l'eau avec certains produits chlorés (hypochlorite de sodium ou de calcium, dichlore, ...)*

*Le choix s'est porté sur l'hypochlorite de sodium ( $Na^+(aq) + ClO^-(aq)$ ) qui est un oxydant puissant. Mélangé à l'eau, il détruit les matières organiques qu'elle contient, en particulier les virus pathogènes et les microbes en une demi-heure. Lors du procédé de chloration, l'ion hypochlorite réagit avec la matière organique contenue dans l'eau pour donner des composés halogéno-organiques tels que le trichlorométhane, l'acide dichloroacétique, l'acide trichloroacétique et le dichloroacétonitrile.*

*À côté de la station, un petit laboratoire de contrôle et de production d'hypochlorite de sodium a été installé.*

#### **1) Production d'hypochlorite**

*La production d'ions hypochlorite s'effectue en deux étapes :*

- *Production de dichlore par électrolyse d'une solution aqueuse de chlorure de sodium ;*
- *Dismutation du dichlore en ions chlorure et hypochlorite en milieu basique :*

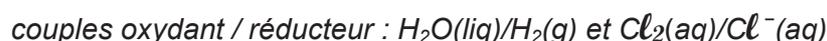


**2.A.1.1)** Calculer la concentration molaire (notée  $C_0$ ) de la solution de chlorure de sodium utilisée lors de l'électrolyse (**document 6**).

**Donnée :**  $M_{NaCl} = 58,5 g.mol^{-1}$

**2.A.1.2)** À quelle borne du générateur de tension est reliée la cathode ?

**2.A.1.3)** Prévoir, à l'aide des couples oxydant/réducteur, les phénomènes observés aux électrodes en précisant le nom des phénomènes et celui des électrodes.



**2.A.1.4)** En déduire la réaction d'oxydoréduction.

**2.A.1.5)** À partir des équations chimiques des réactions d'électrolyse et de dismutation, prévoir la quantité de matière maximale d'ions hypochlorite pouvant être formée dans 1,00 L de solution, en supposant les deux réactions totales.

## 2) Dosage de la solution d'hypochlorite par étalonnage

Il est nécessaire de mesurer la concentration en ions hypochlorite dans la solution  $S_1$  issue de l'électrolyse pour pouvoir poursuivre le procédé de chloration.

La concentration en ions hypochlorite est déterminée par spectrophotométrie selon le protocole suivant :

- La solution  $S_1$  de concentration  $C_1$  en ions hypochlorite, est diluée au centième pour obtenir une solution  $S_2$  de concentration  $C_2$ .
- Un excès d'ions iodure est ajouté à la solution  $S_2$ .

Les ions hypochlorite  $ClO^-(aq)$  réagissent avec les ions iodure  $I^-(aq)$  pour former du diiode  $I_2(aq)$  :



La réaction est totale.

- Le diiode étant une espèce colorée, la solution ainsi obtenue est analysée par spectrophotométrie à 350 nm : son absorbance est  $A = 1,00$ .

### Loi de Beer-Lambert

D'après la loi de Beer-Lambert, l'absorbance **A** d'une solution contenant une seule espèce chimique absorbant à la longueur d'onde d'étude  $\lambda$  est proportionnelle à la concentration molaire de cette espèce.

**2.A.2.1)** Justifier le choix de la longueur d'onde d'analyse :  $\lambda = 350$  nm (**document 7**).

**2.A.2.2)** En quoi la courbe du **document 8** montre que les conditions d'application de la loi de Beer-Lambert sont respectées ? Qu'a-t-on fait pour être dans de telles conditions ?

**2.A.2.3)** Déterminer la concentration en diiode dans la solution analysée (**document 8**). Déduire la concentration  $C_2$  en ions hypochlorite dans la solution  $S_2$ .

**2.A.2.4)** Déterminer ensuite la concentration  $C_1$  de la solution  $S_1$ .

En utilisant les données du constructeur concernant la verrerie et l'incertitude sur la concentration de la solution  $S_2$ , le technicien a calculé l'incertitude  $U_{C_1}$  sur la concentration de la solution mère ( $C_1$ ) avec un taux de confiance de 95 %.

$$\text{Il a calculé : } U_{C_1} = C_1 \sqrt{\left(\frac{U_{C_2}}{C_2}\right)^2 + \left(\frac{U_{V_{\text{pipette}}}}{V_{\text{pipette}}}\right)^2 + \left(\frac{U_{V_{\text{fiolle}}}}{V_{\text{fiolle}}}\right)^2} = 8 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$$

**2.A.2.5)** En pratique, la relation précédente peut être simplifiée par le calcul suivant :

$$U_{C_1} = C_1 \times \left(\frac{U_{C_2}}{C_2}\right)$$

Calculer l'incertitude  $U_{C_1}$  avec cette relation simplifiée, sachant que le rapport  $\frac{U_{C_2}}{C_2}$  concernant la concentration de la solution  $S_2$  est égal à 0,02.

**2.A.2.6)** Justifier qu'il est légitime d'utiliser la relation simplifiée. Conclure sur la prépondérance d'une incertitude par rapport aux autres.

**2.A.2.7)** Exprimer le résultat sous la forme d'un encadrement :  $C_1 - U_{C_1} \leq C_1 \leq C_1 + U_{C_1}$

**2.A.2.8)** Pour traiter l'eau, on tolère une concentration de la solution d'hypochlorite de sodium comprise entre  $0,37 \text{ mol.L}^{-1}$  et  $0,43 \text{ mol.L}^{-1}$ . La solution fabriquée par électrolyse correspond-elle à la norme ?

**2.A.2.9)** Le rendement de l'électrolyse est donné par la relation  $\eta(\%) = \frac{C_1}{C_0} \times 100$ . Faire l'application numérique. Conclure sur l'efficacité de la méthode de production de la solution d'hypochlorite de sodium.

## **B) Par rayonnement Ultra-Violet**

*Les lampes UV-C sont utilisées pour leurs effets germicides. Les UV-C permettent également d'oxyder et de décomposer les composés halogéno-organiques, les nitrites, les pesticides, le dichlore, les chloramines...*

**2.B.1)** À l'aide du **document 9**, donner un encadrement de la longueur d'onde optimale pour détruire les germes (bactéries, virus, champignons, algues et levures).

**2.B.2)** La lampe UV utilisée émet un rayonnement de fréquence  $\nu = 1,18 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$ . Vérifier qu'elle est adaptée à la destruction des germes.

**Donnée** : célérité de la lumière dans le vide et dans l'air :  $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

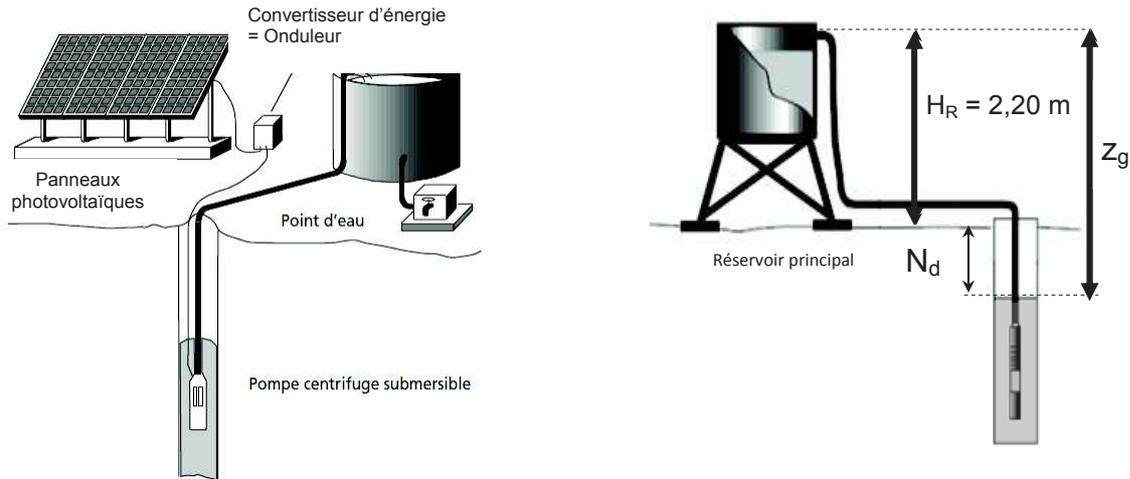
**2.B.3)** La Direction Générale de la Santé préconise une dose minimale de  $25\,000 \mu\text{W.s.cm}^{-2}$  pour la destruction des germes. En utilisant les unités de cette grandeur, justifier que la dose minimale est homogène à une énergie par unité de surface.

## **PARTIE 3 – CHOIX DE LA METHODE DE POTABILISATION DE L'EAU (3 points)**

Dans le strict cadre de la chimie verte, faire, en 10 lignes maximum, une étude comparée des deux méthodes de potabilisation de l'eau. Appuyer l'argumentation à partir des introductions des parties 2.A et 2.B et des **documents 10, 11 et 12**.

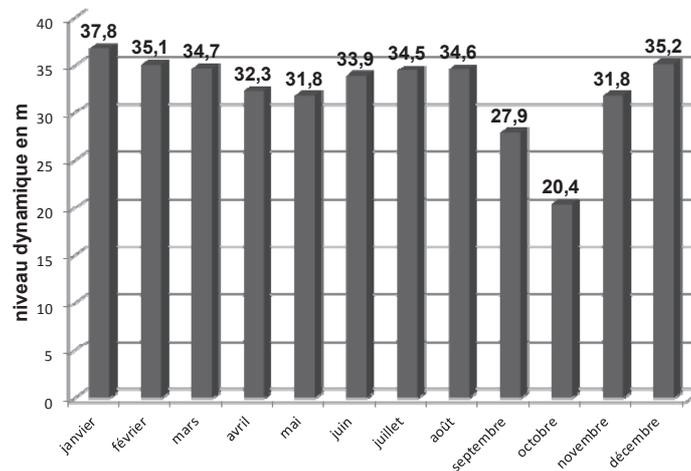
## Document 1 : Station de pompage

d'après : <http://www.meteo.fr>



## Document 2 : Niveau dynamique ( $N_d$ ) annuel de la nappe aquifère

d'après : <http://www.meteo.fr>



## Document 3 : Relevé mensuel d'ensoleillement sur une année-type

d'après : <http://www.meteo.fr>

mois	jan	fév	mar	avr	mai	jui	juil	aoû	sep	oct	nov	déc
nombre heures plein soleil	205	190	205	210	215	210	230	235	195	190	180	185

## Document 4 : $H_{MT}$ maximum (en m) en fonction du débit des pompes centrifuges immergées

d'après : <http://boutique.shop-negimex.com>

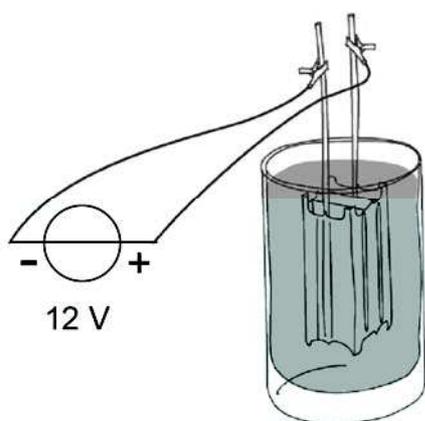
Modèle	Puissance utile du moteur	débit de 0 L/h à 1800 L/h	débit de 1800 L/h à 3000 L/h	débit de 3000 L/h à 4200 L/h	débit de 4200 L/h à 5400 L/h	débit de 5400 L/h à 6600 L/h	débit > 6600 L/h
Modèle A	750 watts	50	44	41	37	29	17
Modèle B	900 watts	75	67	62	55	44	26
Modèle C	1500 watts	106	94	87	78	625	36
Modèle D	2200 watts	150	133	123	110	87	51

**Document 5 : Caractéristiques des panneaux photovoltaïques**

Modèle	Surface du panneau m <sup>2</sup>	puissance crête par m <sup>2</sup> en W/m <sup>2</sup>	tension de sortie en V
Modèle 1	1,6	122,5	31,7
Modèle 2	1,6	195	50,1
Modèle 3	1,6	168	28,9
Modèle 4	1,6	149	40,0

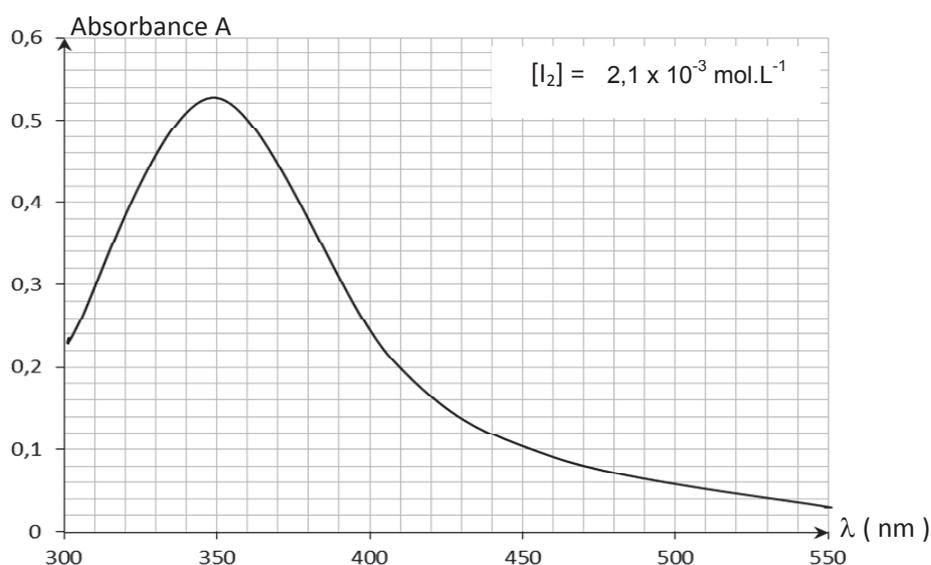
**Document 6 : Préparation d'hypochlorite de sodium par électrolyse**

d'après : <http://www.antenna.ch/recherche/eau-potable/wata-description>

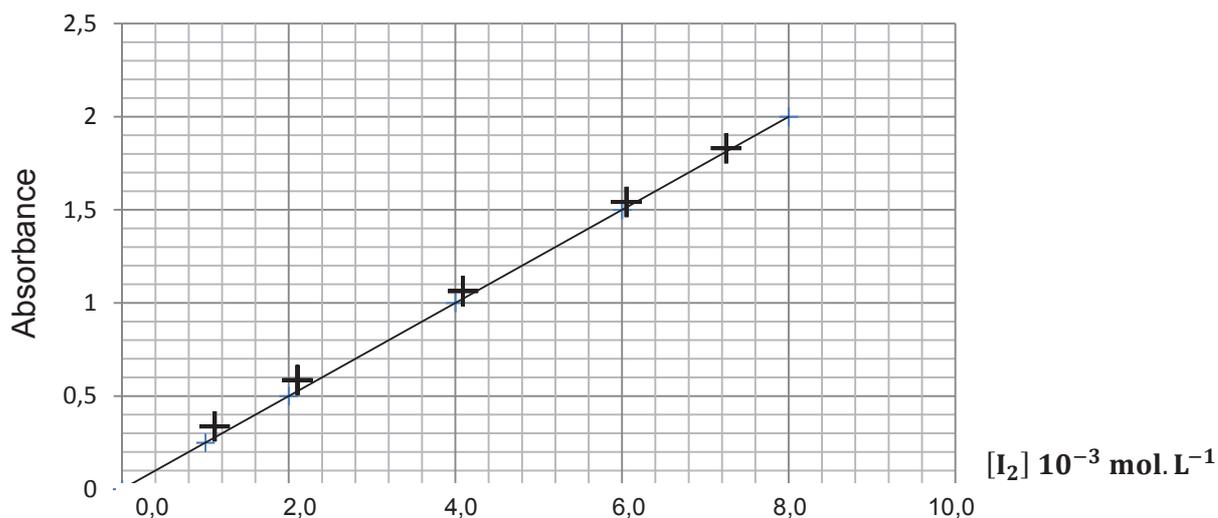


**1,00 litre de solution  
salée contenant 50,0 g  
de sel (chlorure de  
sodium NaCl)**

$$M_{\text{NaCl}} = 58,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

**Document 7 : Spectre UV-visible du diiode (I<sub>2</sub>(aq)) en solution aqueuse**

**Document 8 : Courbe d'étalonnage pour le dosage du diiode ( $I_2(aq)$ ) à une longueur d'onde  $\lambda = 350 \text{ nm}$ , mesurée par spectrophotométrie dans une cuve d'épaisseur  $l = 1 \text{ cm}$**



**Document 9 : Désinfection de l'eau grâce au rayonnement ultra-violet**

source : Techniques de l'Ingénieur, Eaux de distribution – Désinfection, Jacques MOLES

Depuis plusieurs dizaines d'années, un procédé physique de désinfection est utilisé en production d'eau potable : le rayonnement ultraviolet.

Le terme UV est utilisé pour les radiations du spectre électromagnétique de longueurs d'onde comprises entre le visible et les rayons-X, soit de 100 à 400 nm.

À l'intérieur de ce spectre, on distingue plusieurs familles classées par ordre alphabétique et par longueurs d'onde décroissantes : UV proches (UVA/UVB/UVC) et UV extrêmes.

Les UVC (200 à 280 nm) sont les seuls germicides (destruction des bactéries, virus, champignons, algues et levures) [...]

Ils agissent par dégradation des différentes bases azotées qui constituent l'ADN : cytosine, adénine, guanine et thymine. Celles-ci étant modifiées elles ne peuvent plus s'exprimer, bloquant ainsi le processus de réplication de l'ADN soumis à l'irradiation.

Les micro-organismes ne pouvant plus se reproduire, on dit qu'ils sont « inactivés ».

**Document 10 : Les 12 principes de la chimie verte**

d'après : <http://www.cnrs.fr/inc/recherche/programmes/docs/chimieverte.pdf>

1. La prévention de la pollution à la source en évitant la production de résidus.
2. L'économie d'atomes et d'étapes [...].
3. La conception de synthèses moins dangereuses grâce à l'utilisation de conditions douces et la préparation de produits peu ou pas toxiques pour l'homme et l'environnement.
4. La conception de produits chimiques moins toxiques [...].
5. La recherche d'alternatives aux solvants polluants et aux auxiliaires de synthèse.
6. La limitation des dépenses énergétiques [...].
7. L'utilisation de ressources renouvelables à la place des produits fossiles. [...]
8. La réduction du nombre de dérivés [...].
9. L'utilisation des procédés catalytiques de préférence aux procédés stœchiométriques [...].
10. La conception des produits en vue de leur dégradation [...].
11. La mise au point des méthodologies d'analyses en temps réel pour prévenir la pollution [...].
12. Le développement d'une chimie fondamentalement plus sûre pour prévenir les accidents, explosions, incendies et émissions de composés dangereux.

**Document 11 : Fiches techniques des produits utilisés**d'après : <http://www.sigmaaldrich.com/france.html>

<p><b>Chlorure de sodium : NaCl(s)</b>            Cette substance n'est pas classée comme dangereuse</p>	<p><b>Dihydrogène : H<sub>2</sub>(g)</b></p>  <p>Gaz extrêmement inflammable.</p>
<p><b>Hypochlorite de sodium en solution : Na<sup>+</sup>(aq), ClO<sup>-</sup>(aq)</b></p>  <p>Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves.            Très toxique pour les organismes aquatiques.</p>	<p><b>Acide trichloroacétique : C<sub>2</sub>HCl<sub>3</sub>O<sub>2</sub>(l)</b></p>  <p>Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves.            Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme.</p>
<p><b>Acide dichloroacétique : C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>O<sub>2</sub>(l)</b></p>  <p>Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves.            Très toxique pour les organismes aquatiques.</p>	<p><b>Dichloroacétonitrile : C<sub>2</sub>HCl<sub>2</sub>N(l)</b></p>  <p>Liquide et vapeurs inflammables.            Nocif en cas d'ingestion.            Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves.</p>
<p><b>Trichlorométhane : CHCl<sub>3</sub>(l)</b></p>  <p>Nocif en cas d'ingestion.            Provoque une irritation cutanée.            Susceptible de provoquer le cancer.            Risque présumé d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée.</p>	

**Document 12 : Les effets du rayonnement U.V.**d'après : [http://fr.wikipedia.org/wiki/Uv#Effets\\_sur\\_la\\_sant.C3.A9](http://fr.wikipedia.org/wiki/Uv#Effets_sur_la_sant.C3.A9)

Les rayonnements UV sont classés en fonction de leur activité biologique et de leur pouvoir de pénétration de la peau. Ils correspondent à trois plages de longueurs d'onde. Plus le rayonnement UV a une longueur d'onde longue, moins il est nocif (il se rapproche de la lumière visible) mais il a un pouvoir de pénétration cutanée plus important. Quand sa longueur d'onde diminue, il possède plus d'énergie, se rapproche des rayons X et donc est plus destructeur.

Les UV-C (280 - 200 nm), de courte longueur d'onde, sont les UV les plus nocifs. Ils provoquent le vieillissement de la peau et l'apparition de rides et de cancers cutanés. Ils sont dangereux pour les yeux des enfants et des adultes. Ils sont capables de produire de très fortes quantités de radicaux libres oxygénés dans les cellules de la peau. Mais ils sont complètement filtrés par la couche d'ozone de l'atmosphère et n'atteignent donc pas théoriquement la surface de la Terre.