

# Concours régional 2019 des Olympiades de la chimie

## Epreuve de réflexion collaborative sur une problématique scientifique

Durée : 2h00 de préparation + 30 minutes de présentation et d'entretien devant le jury

### Description de l'épreuve

L'épreuve comprend trois parties :

1. La première partie (**10 minutes**) est la présentation d'une problématique proposée dont il est possible de ne présenter que quelques aspects bien choisis et justifiés par les candidats. L'évaluation de cette partie prend en compte : la pertinence de la présentation par rapport à la problématique, les connaissances scientifiques, la culture générale, l'intérêt porté au monde qui les entoure et qui leur permet de s'engager dans un débat de type sociétal (environnemental, économique, risque...), l'argumentation scientifique et l'aptitude à communiquer.
2. La seconde partie (**5 minutes**) est une résolution de problème. Elle fait appel aux documents fournis, ainsi qu'à des connaissances supplémentaires car les données peuvent parfois être incomplètes. Les candidats devront préparer un exposé présentant l'élaboration de la stratégie de résolution, les choix opérés, la mise en œuvre de la démarche, le(s) résultat(s) chiffré(s) obtenu(s) et l'analyse critique qu'ils en font, voire les améliorations qu'ils pourraient apporter à leur résolution. L'initiative, l'autonomie, la mobilisation de connaissances et de savoir-faire, ainsi que l'esprit critique seront particulièrement recherchés chez les candidats.
3. La troisième partie (**15 minutes**) est un entretien avec le jury qui permettra aux candidats d'argumenter sur leurs choix, de développer des arguments, de faire avancer éventuellement une démarche de résolution non aboutie, d'améliorer le modèle retenu pour la résolution, de corriger d'éventuelles erreurs et de répondre à des questions diverses liées à la problématique étudiée.

#### Préparation de la présentation

Les candidats sont installés dans une salle au sein de laquelle ils effectuent leur préparation et leur présentation. L'équipe dispose d'un tableau, d'un ordinateur relié à un vidéoprojecteur, d'une calculatrice simple. L'ordinateur comporte un logiciel de présentation (diaporama), un traitement de texte et un tableur.

**Les candidats n'ont pas accès à internet et ne peuvent utiliser ni leur propre calculatrice ni leur téléphone portable.**

Chaque candidat dispose d'un sujet, qui par ailleurs se trouve aussi sous forme numérisée sur l'ordinateur, de manière à pouvoir éventuellement être utilisé pour la présentation.

Au cours de la préparation, les candidats travaillent ensemble sur la problématique, la résolution de problème. Ils peuvent néanmoins, à certains moments, se répartir les tâches notamment pour ce qui concerne la présentation. Une planification du travail de l'équipe s'avère nécessaire pour gagner en efficacité.

## Présentation devant le jury

L'équipe dispose de 15 minutes pour effectuer la présentation de son travail qui sera suivie de 15 minutes d'entretien.

Les trois candidats du groupe se répartissent **le temps de parole équitablement**, tant pour la présentation que lors de l'entretien.

Pour leur présentation, ils utilisent les supports de leur choix parmi ceux mis à disposition (papier, tableau, ordinateur...). Les formes de restitutions possibles ne se limitent pas à un texte rédigé, les communications scientifiques utilisant bien d'autres formes (courbes, schémas, graphes commentés, carte mentale etc.). La durée relative aux deux parties de l'épreuve, indiquée sur le sujet doit être respectée.

La qualité de la présentation est évaluée.

A l'issue de la présentation, le jury pose des questions pendant 15 minutes sur les deux parties présentées.

## LES BETONS AUTONETTOYANTS

### POUR LA PÉRENNITE ARCHITECTURALE DES PAREMENTS

#### Réalisations ciment/béton TX Arca®



Eglise du Jubilé, Rome



Cité des Arts et de la Musique, Chambéry



Hôtel de police, Bordeaux



Cité PN Air France, Roissy

## Dépollution .

Les chimistes interviennent sur le contrôle de la pollution de l'air, en aidant les pouvoirs publics à mettre en place des réglementations destinées à protéger les citoyens et à améliorer la qualité sanitaire des matériaux de construction et de décoration. D'un côté, ils définissent les mesures à prendre en amont pour éviter la présence de matériaux émissifs de composés organiques volatils dans nos bâtiments, d'un autre, ils développent des techniques pour assainir l'air pollué à l'intérieur des bâtiments et à l'extérieur. Une méthode de choix fait appel à la photocatalyse.

### 1. Problématique :

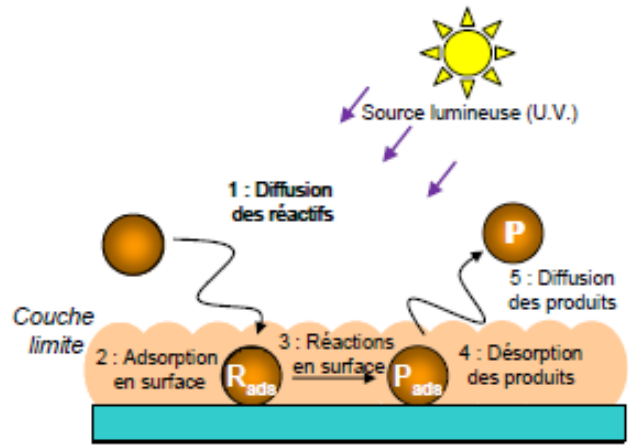
On prendra soin de définir le processus chimique mis en jeu et les grandeurs associées en photocatalyse. On complétera cette synthèse par une analyse critique de la réponse scientifique apportée à cette dépollution.

### 2. Problème ouvert :

Déterminer le volume de  $\text{CO}_2$  produit par la dépollution de MEC (butanone) pendant 1 minute dans deux conditions expérimentales : Lampe UVA et lampe Solaire (dans les conditions de conversion optimales) .On fera une analyse critique de la comparaison des deux résultats.

# Document 1 : Principe de la photocatalyse

La photocatalyse est une technique consistant à détruire des composés gazeux (composés organiques volatils principalement, COV) en les dégradant à la surface d'un catalyseur. En présence d'oxygène et de vapeur d'eau, le rayonnement ultra-violet qui active un matériau semi-conducteur permet aux molécules entrant en contact avec la surface réactive de se transformer en dioxyde de carbone et en vapeur d'eau. Cette technique permet d'éliminer les micro-organismes ou les odeurs mais également d'autres composés gazeux inorganiques comme les oxydes d'azote.



Source : Fiche technique de l'ADEME

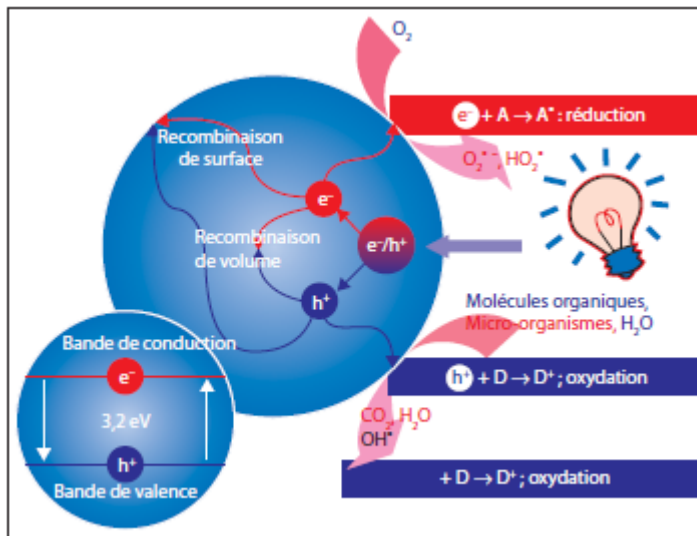


Figure 2

Le principe de la photocatalyse. Lorsqu'un photon de lumière percute le matériau, il crée un électron et un « trou » qui migrent vers la surface pour provoquer des réactions d'oxydation, dégradant les polluants chimiques et biologiques par photo-oxydation.

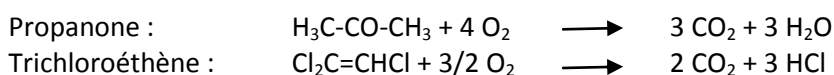
Lorsqu'un photon est absorbé, des électrons du dioxyde de titane passent de la bande de valence à la bande de conduction, il apparaît des électrons dans la bande de conduction et des trous dans la bande de valence, le photocatalyseur est activé, les molécules d'eau et de dioxygène adsorbées se transforment en radicaux, espèces chimiques extrêmement réactives. Ces radicaux réagissent alors avec des composés chimiques polluants.

Marc J. Ledoux La photocatalyse pour dépolluer (chimie et habitat)

Les radicaux libres sont des espèces chimiques possédant un ou plusieurs électrons non appariés sur leur couche externe. Exemples :  $\text{HO}^\bullet$ ,  $\text{HO}_2^\bullet$ ....

Ils peuvent être formés par rupture homolytique de liaisons covalentes, par électrolyse ou par réactions d'oxydo-réduction (échange d'électrons avec un semi-conducteur par exemple). Leur durée de vie est courte, ils sont très réactifs et peuvent ainsi participer aux réactions d'oxydation de composés organiques.

Exemples de conversion totale de composés organiques par photocatalyse :



Si l'humidité favorise la génération de radicaux libres (qui vont dégrader le polluant efficacement), elle réduit à l'inverse les quantités de polluants pouvant se fixer à la surface du catalyseur. Il est aujourd'hui démontré, en air intérieur, qu'une humidité anormalement élevée tend à diminuer la performance des systèmes photocatalytiques de tous types, en plus de favoriser les moisissures. Par ailleurs, un effet « nettoyant » des pluies est mis en évidence en extérieur, efficace pour avoir une surface du photocatalyseur ne se saturant pas trop vite. Des questions se posent toutefois sur la toxicité de ces eaux de ruissellement.

## DOCUMENT 2 : Application de la photocatalyse

Le traitement de l'air par photocatalyse a été développé au Japon, pays le plus en pointe pour commercialiser cette technique, dans les années 70. Des applications destinées aux secteurs industriels et au traitement en extérieur émergent depuis les années 90. Depuis le début des années 2000, l'offre s'oriente également vers des applications en intérieur.

Les solutions techniques commercialisées dans le domaine de l'épuration de l'air se décomposent en deux familles :

- ✓ Les épurateurs d'air utilisés en intérieur, mobiles (unité autonome), fixes (plafonnier, console murale) ou couplés au réseau de ventilation (les systèmes CVC<sup>1</sup> : Chauffage, Ventilation et Conditionnement de l'air) ;
- ✓ Des matériaux dits « photoactifs » utilisés pour le traitement de l'air intérieur ou extérieur (peintures de décoration, carrelages, revêtements de plaques ou de dalles, béton, ciments, enduits, céramiques, verres autonettoyants, peintures mais aussi bitumes...).

Plus de 87% du marché mondial du traitement de l'air par photocatalyse est réalisé dans le secteur de la construction (environ 1 milliard d'euros dont l'essentiel concerne des applications de dépollution de l'air extérieur). Les applications liées à la qualité de l'air intérieur sont encore marginales. Pour le marché européen, l'estimation du potentiel de développement de la photocatalyse est de l'ordre de quelques centaines de millions d'euros.

### *Air extérieur : dégradation de polluants comme les oxydes d'azote*

Si la photocatalyse pour traiter l'air permet surtout d'éliminer les COV (composés organiques volatils), certains travaux ont aussi étudié des polluants inorganiques tels que les oxydes d'azote (NOx). Des expérimentations, menées grande nature, sur des revêtements de bâtiment<sup>2</sup> ou de route<sup>3</sup> (matériaux photoactifs : mortiers et ciments) ont montré une réduction des concentrations de NOx allant jusqu'à 40 à 57%, à proximité immédiate des zones où sont utilisés ces matériaux. D'autres expérimentations ont été moins concluantes sur l'efficacité de la photocatalyse, en raison notamment d'une saturation trop rapide du semi-conducteur.

### *Air intérieur : élimination de micro-organismes et dégradation de certains COV*

Outre les polluants gazeux, la photocatalyse permet, sous certaines conditions, d'éliminer certains COV, ainsi que les micro-organismes grâce à un effet germicide. Les micro-organismes s'accrochent suffisamment longtemps à la surface du semi-conducteur pour que cela bloque leur reproduction (effet bactériostatique) ou les détruit (effet bactéricide).

Source : Rapport Ademe



## Document 3 : Bilan de la photocatalyse

Peu de recherches en conditions réelles d'utilisation de la photocatalyse ont été effectuées à ce jour. Les quelques expérimentations menées dans les ambiances intérieures sur un système de ventilation équipé d'un filtre catalytique<sup>4</sup> ont montré de forts écarts de performances selon les mélanges de polluants employés et les débits d'air testés. Celles effectuées sur des épurateurs d'air autonomes et les matériaux photoactifs ont montré un **abattement très faible des molécules chimiques**. Des simulations numériques des écoulements d'air et des polluants à l'intérieur d'une pièce équipée de peintures photoactives montrent, notamment, une adsorption insuffisante des polluants et donc une efficacité peu significative. A ces constats s'ajoute le fait que le rendement d'un photocatalyseur décroît avec son usure. Enfin, le processus de photocatalyse peut avoir des effets non désirés sur son environnement, en affectant par exemple les propriétés des peintures (résistance, texture...) par l'oxydation de leurs composés organiques.

Les épurateurs d'air ou les matériaux dépolluants ayant recours à la photocatalyse utilisent en grande majorité du dioxyde de titane ( $\text{TiO}_2$ ) à l'échelle nanométrique, classé par le CIRC<sup>5</sup> depuis 2007 comme « cancérogène possible pour l'homme ». Les éventuelles émissions de particules de  $\text{TiO}_2$  par les produits photocatalytiques commercialisés et l'exposition des personnes restent inconnues à ce jour. Par ailleurs, en cas de dégradation incomplète des polluants, la photocatalyse peut générer des composés appelés également sous-produits nocifs pour la santé ou l'environnement, comme des cétones et des aldéhydes<sup>6</sup>. Enfin, un processus complet de dégradation peut également être source de polluants (nitrates par exemple).

Les matériaux photoactifs ont l'avantage d'être économes en énergie si la source de lumière est naturelle (UV) ce qui dispense de l'installation de lampes. En revanche, les épurateurs photocatalytiques consomment de l'énergie, de façon relativement limitée pour les petits systèmes autonomes, mais de façon non négligeable pour les systèmes de chauffage, ventilation et climatisation (CVC) destinés à intégrer un bâtiment. Dans l'industrie, une opération de traitement des effluents gazeux, accompagnée par l'ADEME, a montré que la photocatalyse pouvait être peu adaptée en raison de son coût énergétique et de ses performances insuffisantes<sup>10</sup>.

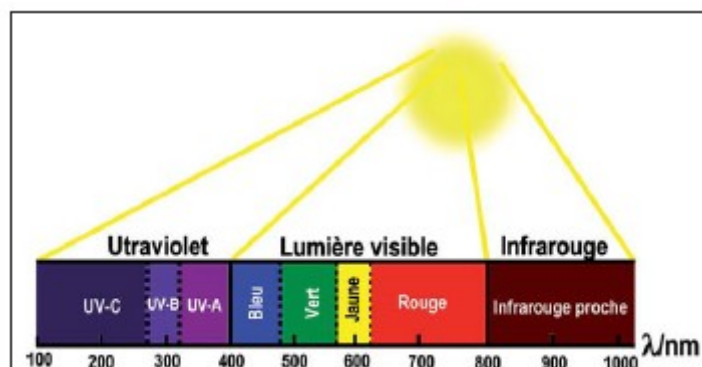
Source : Rapport Ademe

La qualité de l'air intérieur n'a été identifiée comme un facteur important de santé publique que récemment au cours du Grenelle de l'environnement (2007). La méthode de la photocatalyse répond à cette question de santé en faisant passer dans la réalité quotidienne l'excellente recommandation faite par le législateur pour qu'il s'occupe de l'hygiène de son habitat comme de son hygiène corporelle.

Plusieurs types d'appareils commerciaux pour la dépollution de l'air intérieur par photocatalyse existent déjà, parmi lesquels des appareils brevetés par le CNRS-Université de Strasbourg et la société Biowind3, une start-up née du laboratoire de Strasbourg. Un de ces types d'appareils est installé en routine dans les ambulances, où l'air est alors désinfecté en continu, ce qui résout les problèmes liés au transport des patients, ainsi que du personnel médical. L'autre type d'appareil est utilisé dans des cabinets médicaux ou des salles d'hôpitaux. Le laboratoire de Strasbourg a conçu un appareil, peu coûteux, destiné au grand public à usage domestique. De petite taille, il pourra être placé dans n'importe quelle pièce de la maison pour en dépolluer l'air.

Marc J. Ledoux La photocatalyse pour dépolluer (chimie et habitat)

## Document 4 : spectre de la lumière solaire



Marc J. Ledoux La photocatalyse pour dépolluer (chimie et habitat)

## Document 5 : Le dioxyde de titane



### **Utilisations**

Le dioxyde de titane est utilisé principalement comme pigment blanc (dans les peintures, plastiques, papiers, encres), sa fabrication consomme environ 90 % de la production des minerais de titane. Environ 6 % des minerais de titane sont destinés à l'élaboration du [titane](#).

#### **Autres utilisations diverses :**

- Incorporé dans le bitume de routes situées sous des tunnels, il donne une chaussée claire permettant un meilleur éclairage du tunnel et par action photocatalytique permet de décomposer les oxydes d'azote émis par les automobiles.
- Sous sa forme anatase, comme catalyseur photochimique, en particulier pour la purification de l'eau et de l'air avec la décomposition de composés organiques.

### **Productions minières**

En 2018. Monde : 6,15 millions de t de  $TiO_2$  contenu dont 5,4 millions de t d'ilménite et 750 000 t de rutile.

en milliers de t de  $TiO_2$  contenu

<b>Australie</b>	<b>950 dont 250 de rutile</b>	<b>Kenya</b>	<b>370 dont 90 de rutile</b>
<b>Chine</b>	<b>850</b>	<b>Ukraine</b>	<b>330 dont 100 de rutile</b>
<b>Canada</b>	<b>850</b>	<b>Inde</b>	<b>310 dont 10 de rutile</b>
<b>Mozambique</b>	<b>618 dont 18 de rutile</b>	<b>Sénégal</b>	<b>258 dont 8 de rutile</b>
<b>Afrique du Sud</b>	<b>600 dont 100 de rutile</b>	<b>Norvège</b>	<b>200</b>

Source : USGS

Par ailleurs, la Sierra Leone a produit, en 2018, 170 000 t de rutile.

La production de titane augmenterait de 4 % par an en tendance, et 2008 aura été l'année où la capacité de production de lingots par l'industrie chinoise aura atteint le 2ème rang mondial, assez loin derrière les États-Unis. Le marché connaît des flambées de prix et le recyclage du titane devient un réel enjeu, même s'il ne figure qu'à la 13ème place des matériaux stratégiques les plus sensibles.

## Document 6 : Fiches INRS données de toxicité



### BUTANONE

#### Danger

H225 - Liquide et vapeurs très inflammables

H319 - Provoque une sévère irritation des yeux

H336 - Peut provoquer somnolence ou vertiges

EUH 066 - L'exposition répétée peut provoquer dessèchement ou gerçures de la peau

Nota : Les conseils de prudence P sont sélectionnés selon les critères de l'annexe 1 du règlement CE n° 1272/2008.

201-159-0



Comburant

### DIOXYDE D'AZOTE

#### Danger

H270 - Peut provoquer ou aggraver un incendie ; comburant

H314 - Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves

H330 - Mortel par inhalation

Nota : Les conseils de prudence P sont sélectionnés selon les critères de l'annexe 1 du règlement CE n° 1272/2008.

233-272-6



### MONOXYDE DE CARBONE

#### Danger

H220 - Gaz extrêmement inflammable

H360D - Peut nuire au fœtus

H331 - Toxique par inhalation

H372 - Risque avéré d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée

Nota : Les conseils de prudence P sont sélectionnés selon les critères de l'annexe 1 du règlement CE n° 1272/2008.

211-128-3



## Document 7 : Conversion de la MEC sous irradiation UV et irradiation solaire

On étudie la conversion de la méthyléthyl cétone (MEC) ou butanone par photocatalyse dans différentes conditions d'irradiation.

La source lumineuse est une lampe de puissance électrique 8 W fournissant une lumière noire UV-A ( $45,3 \text{ W/m}^2$ ) disponible dans le commerce (Philips TL 8W BLB) avec un pic spectral centré autour de 365 nm (Figure III. A-2) ou une lampe de puissance électrique 8 W fournissant une lumière de type solaire (Osram L 8W/954) (Figure III. A-2), localisée à l'intérieur du tube interne. La simulation de la lumière solaire (jour) consiste, en termes d'irradiance, en  $42,5 \text{ W/m}^2$  de rayonnement visible et  $0,7 \text{ W/m}^2$  de rayonnement UV-A (1,6%).

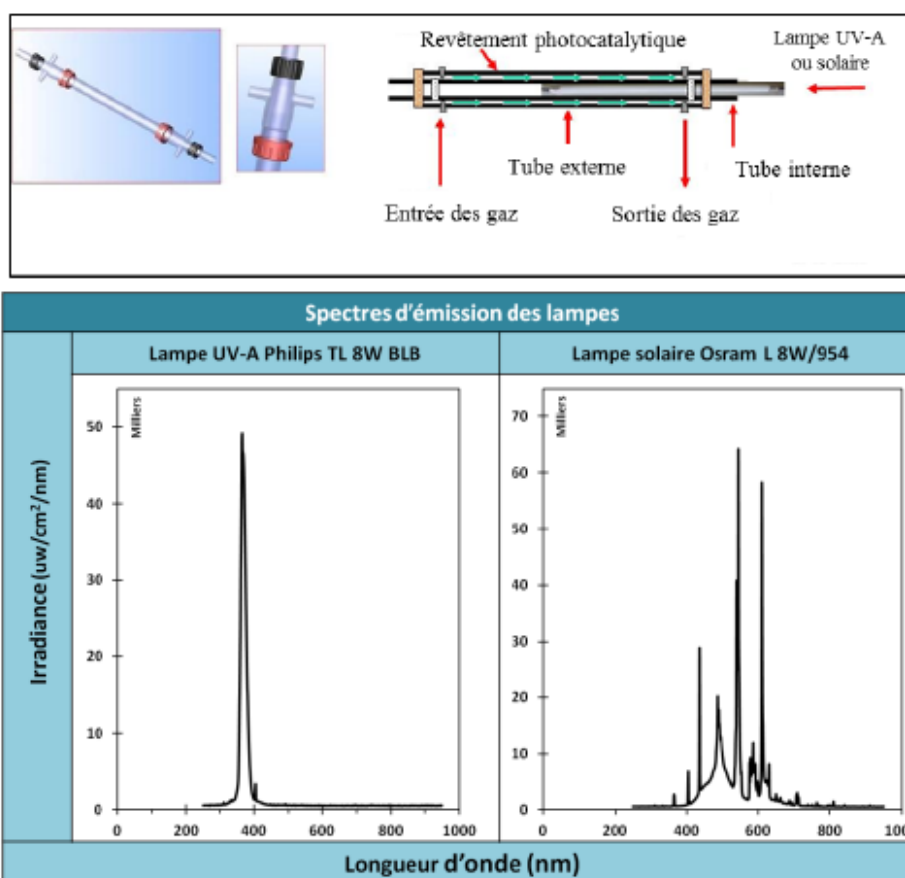


Figure III. A-2 : Vue tridimensionnelle et schématique du réacteur photocatalytique double enveloppe du type annulaire concentrique à double paroi (haut). Spectre d'émission des lampes utilisées pour les tests photocatalytiques dans ce travail. Le radiomètre utilisé correspond à un modèle ILT900 (de la compagnie International Light Technology). Les mesures ont été prises à 50 ms comme temps d'intégration. (bas)

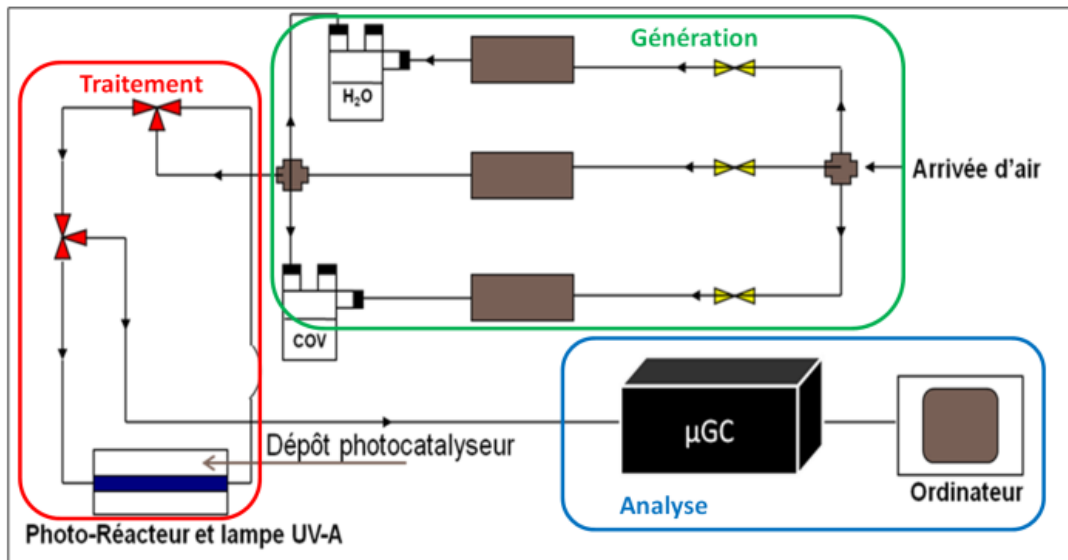


Figure III. A-1 : Pilote de tests sous flux avec la MEC

L'efficacité du processus de dépollution est exprimée en termes de conversion de la MEC, de sélectivité en CO<sub>2</sub>, de rendement de minéralisation, ainsi que de rendement de déficit en carbone (le déficit en carbone étant la concentration ou la quantité de carbone restant adsorbée ou déposée sur la surface du catalyseur et n'apparaissant pas en phase gazeuse). Ces grandeurs sont respectivement calculées comme suit:

**Conversion de la MEC :**

$$C_{MEC}(\%) = \frac{[MEC]_{entrée} - [MEC]_{sortie}}{[MEC]_{entrée}} \times 100$$

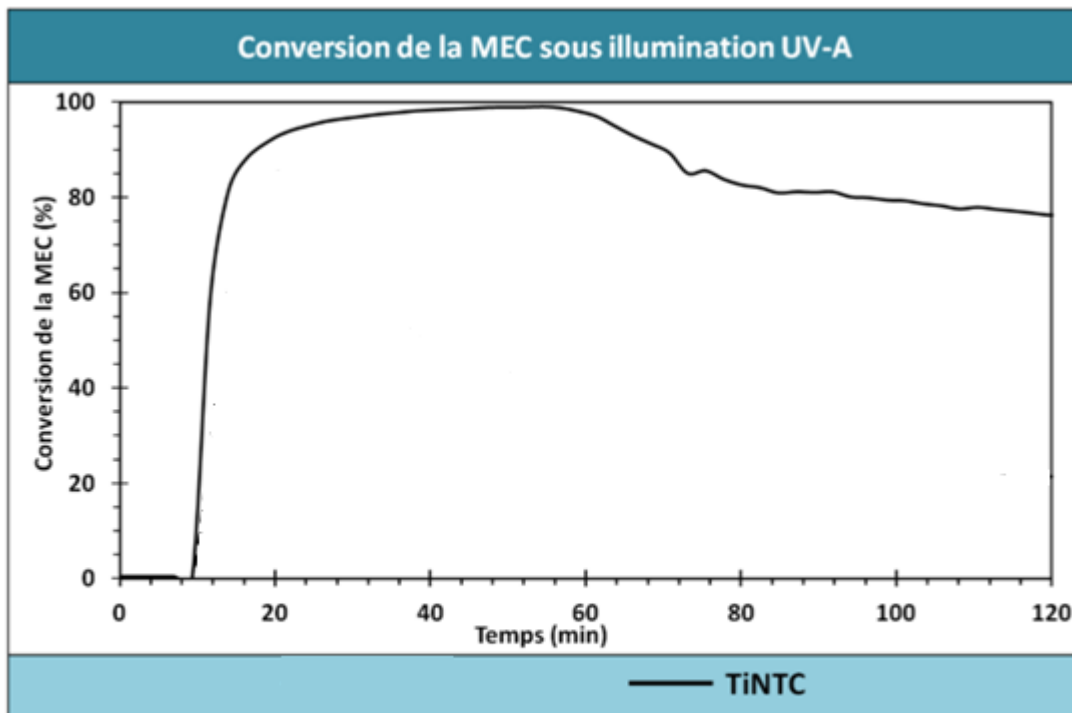
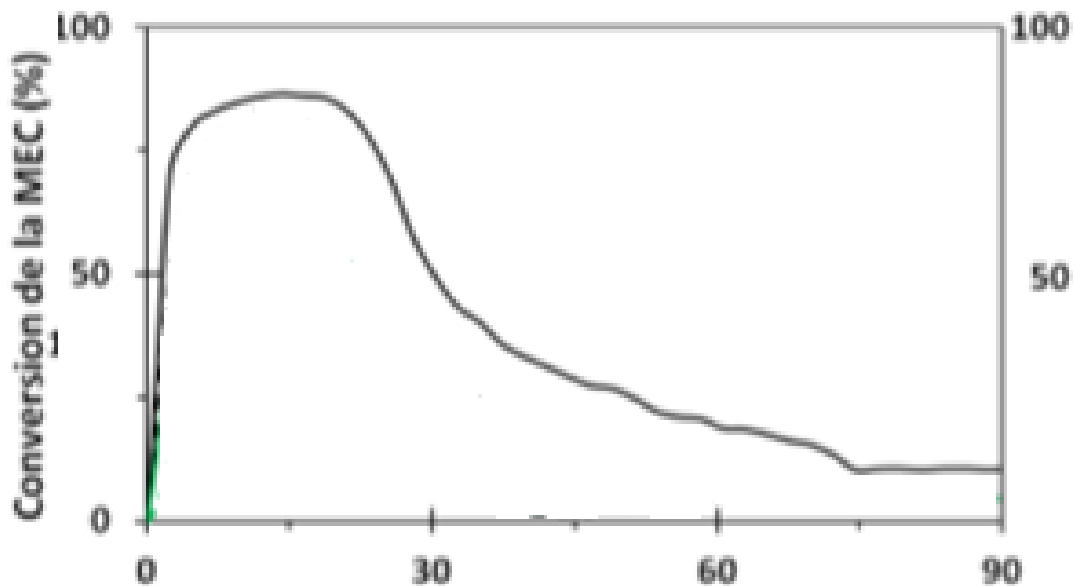


Figure III. A-4: Conversion de la MEC sous illumination UV-A pour les nanotubes calcinés (TiNTC), (Condition du test : 400ppm de MEC, 50% humidité relative, 300 cm<sup>3</sup>/min)



**Figure III. A-13:** *Activité photocatalytique vis-à-vis de l'élimination de la MEC sous illumination solaire pour les échantillons TiNTC (Condition du test : 400ppm de MEC, 50% humidité relative, 300 cm<sup>3</sup>/min)*

Yas Yamin. Elaboration de photocatalyseurs à base de nanotubes de TiO<sub>2</sub> modifiés par WO<sub>3</sub> et ZnO: applications à l'élimination de méthyléthylcétone et de l'H<sub>2</sub>S sous illumination UV-A et solaire. Université de Strasbourg,

## Document 8 : Données numériques

**Constantes :** Nombre d'Avogadro :  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Constante des gaz parfaits :  $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Célérité de la lumière dans le vide :  $C = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Constante de Planck :  $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

$1\text{eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$

volume molaire des gaz dans les conditions étudiées :  $25 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$

1ppm = 1 molécule / 1million de molécule d'air

Le dioxyde de Titane est un semi conducteur dont la bande interdite a pour hauteur 3.2eV

# TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS

<http://www.ijp.ac.fr/~ijp/academique/ijp/>

PÉRIODE	GROUPE		NUMÉRO D'ÉLÉMENT																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
1	1 1,0079 <b>H</b> HYDROGÈNE	2 4,0026 <b>He</b> Hélium																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
2	3 6,941 <b>Li</b> Lithium	4 9,0122 <b>Be</b> Béryllium	5 10,811 <b>B</b> Bore	6 12,011 <b>C</b> Carbone	7 14,007 <b>N</b> Azote	8 16,999 <b>O</b> Oxygène	9 18,998 <b>F</b> Fluor	10 20,180 <b>Ne</b> Néon												18 39,948 <b>Ar</b> Argon																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
3	11 22,990 <b>Na</b> Sodium	12 24,305 <b>Mg</b> Magnésium	13 26,982 <b>Al</b> Aluminium	14 28,086 <b>Si</b> Silicium	15 30,974 <b>P</b> Phosphore	16 32,065 <b>S</b> Soufre	17 35,453 <b>Cl</b> Chlore	18 39,948 <b>Ar</b> Argon	19 39,098 <b>K</b> Potassium	20 40,078 <b>Ca</b> Calcium	21 44,956 <b>Sc</b> Scandium	22 47,867 <b>Ti</b> Titane	23 50,942 <b>V</b> Vanadium	24 51,996 <b>Cr</b> Chrome	25 54,938 <b>Mn</b> Manganèse	26 55,845 <b>Fe</b> Fer	27 58,933 <b>Co</b> Cobalt	28 58,933 <b>Ni</b> Nickel	29 63,546 <b>Cu</b> Cuivre	30 65,39 <b>Zn</b> Zinc	31 69,723 <b>Ga</b> Gallium	32 72,64 <b>Ge</b> Germanium	33 74,922 <b>As</b> Arsenic	34 78,96 <b>Se</b> Sélénium	35 79,904 <b>Br</b> Brome	36 83,803 <b>Kr</b> Krypton																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
4	37 85,468 <b>Rb</b> Rubidium	38 87,62 <b>Sr</b> Strontium	39 88,906 <b>Y</b> Yttrium	40 91,224 <b>Zr</b> Zirconium	41 92,906 <b>Nb</b> Niobium	42 92,906 <b>Mo</b> Molybdène	43 95,94 <b>Tc</b> Technétium	44 101,07 <b>Ru</b> Ruthénium	45 101,07 <b>Rh</b> Rhodium	46 106,42 <b>Pd</b> Paladium	47 107,87 <b>Ag</b> Argent	48 112,41 <b>Cd</b> Cadmium	49 114,82 <b>In</b> Indium	50 118,71 <b>Sn</b> Étain	51 121,76 <b>Sb</b> Antimoine	52 127,60 <b>Te</b> Tellure	53 126,90 <b>I</b> Iode	54 131,29 <b>Xe</b> Xénon	55 132,91 <b>Cs</b> Césium	56 137,33 <b>Ba</b> Baryum	57-71 Lanthanides	72 178,49 <b>Hf</b> Hafnium	73 180,96 <b>Ta</b> Tungstène	74 183,84 <b>W</b> Wolfram	75 186,21 <b>Re</b> Rhenium	76 186,21 <b>Os</b> Osmium	77 190,23 <b>Ir</b> Iridium	78 195,08 <b>Pt</b> Platine	79 196,97 <b>Au</b> Or	80 200,59 <b>Hg</b> Mercure	81 204,38 <b>Tl</b> Thallium	82 207,2 <b>Pb</b> Plomb	83 208,98 <b>Bi</b> Bismuth	84 209 <b>Po</b> Polonium	85 210 <b>At</b> Astote	86 222 <b>Rn</b> Radon																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
5	87 226,04 <b>Fr</b> Francium	88 226 <b>Ra</b> Radium	89-103 Actinides	104 261 <b>Rf</b>	105 262 <b>Db</b>	106 263 <b>Sg</b>	107 264 <b>Bh</b>	108 265 <b>Hs</b>	109 266 <b>Mt</b>	110 267 <b>Ds</b>	111 268 <b>Rg</b>	112 269 <b>Cn</b>	113 270 <b>Nh</b>	114 271 <b>Fl</b>	115 272 <b>Mc</b>	116 273 <b>Lv</b>	117 274 <b>Ts</b>	118 276 <b>Og</b>	119 277 <b>Uue</b>	120 278 <b>Uub</b>	121 279 <b>Uut</b>	122 280 <b>Uuq</b>	123 281 <b>Uuq</b>	124 282 <b>Uuq</b>	125 283 <b>Uuq</b>	126 284 <b>Uuq</b>	127 285 <b>Uuq</b>	128 286 <b>Uuq</b>	129 287 <b>Uuq</b>	130 288 <b>Uuq</b>	131 289 <b>Uuq</b>	132 290 <b>Uuq</b>	133 291 <b>Uuq</b>	134 292 <b>Uuq</b>	135 293 <b>Uuq</b>	136 294 <b>Uuq</b>	137 295 <b>Uuq</b>	138 296 <b>Uuq</b>	139 297 <b>Uuq</b>	140 298 <b>Uuq</b>	141 299 <b>Uuq</b>	142 300 <b>Uuq</b>	143 301 <b>Uuq</b>	144 302 <b>Uuq</b>	145 303 <b>Uuq</b>	146 304 <b>Uuq</b>	147 305 <b>Uuq</b>	148 306 <b>Uuq</b>	149 307 <b>Uuq</b>	150 308 <b>Uuq</b>	151 309 <b>Uuq</b>	152 310 <b>Uuq</b>	153 311 <b>Uuq</b>	154 312 <b>Uuq</b>	155 313 <b>Uuq</b>	156 314 <b>Uuq</b>	157 315 <b>Uuq</b>	158 316 <b>Uuq</b>	159 317 <b>Uuq</b>	160 318 <b>Uuq</b>	161 319 <b>Uuq</b>	162 320 <b>Uuq</b>	163 321 <b>Uuq</b>	164 322 <b>Uuq</b>	165 323 <b>Uuq</b>	166 324 <b>Uuq</b>	167 325 <b>Uuq</b>	168 326 <b>Uuq</b>	169 327 <b>Uuq</b>	170 328 <b>Uuq</b>	171 329 <b>Uuq</b>	172 330 <b>Uuq</b>	173 331 <b>Uuq</b>	174 332 <b>Uuq</b>	175 333 <b>Uuq</b>	176 334 <b>Uuq</b>	177 335 <b>Uuq</b>	178 336 <b>Uuq</b>	179 337 <b>Uuq</b>	180 338 <b>Uuq</b>	181 339 <b>Uuq</b>	182 340 <b>Uuq</b>	183 341 <b>Uuq</b>	184 342 <b>Uuq</b>	185 343 <b>Uuq</b>	186 344 <b>Uuq</b>	187 345 <b>Uuq</b>	188 346 <b>Uuq</b>	189 347 <b>Uuq</b>	190 348 <b>Uuq</b>	191 349 <b>Uuq</b>	192 350 <b>Uuq</b>	193 351 <b>Uuq</b>	194 352 <b>Uuq</b>	195 353 <b>Uuq</b>	196 354 <b>Uuq</b>	197 355 <b>Uuq</b>	198 356 <b>Uuq</b>	199 357 <b>Uuq</b>	200 358 <b>Uuq</b>	201 359 <b>Uuq</b>	202 360 <b>Uuq</b>	203 361 <b>Uuq</b>	204 362 <b>Uuq</b>	205 363 <b>Uuq</b>	206 364 <b>Uuq</b>	207 365 <b>Uuq</b>	208 366 <b>Uuq</b>	209 367 <b>Uuq</b>	210 368 <b>Uuq</b>	211 369 <b>Uuq</b>	212 370 <b>Uuq</b>	213 371 <b>Uuq</b>	214 372 <b>Uuq</b>	215 373 <b>Uuq</b>	216 374 <b>Uuq</b>	217 375 <b>Uuq</b>	218 376 <b>Uuq</b>	219 377 <b>Uuq</b>	220 378 <b>Uuq</b>	221 379 <b>Uuq</b>	222 380 <b>Uuq</b>	223 381 <b>Uuq</b>	224 382 <b>Uuq</b>	225 383 <b>Uuq</b>	226 384 <b>Uuq</b>	227 385 <b>Uuq</b>	228 386 <b>Uuq</b>	229 387 <b>Uuq</b>	230 388 <b>Uuq</b>	231 389 <b>Uuq</b>	232 390 <b>Uuq</b>	233 391 <b>Uuq</b>	234 392 <b>Uuq</b>	235 393 <b>Uuq</b>	236 394 <b>Uuq</b>	237 395 <b>Uuq</b>	238 396 <b>Uuq</b>	239 397 <b>Uuq</b>	240 398 <b>Uuq</b>	241 399 <b>Uuq</b>	242 400 <b>Uuq</b>	243 401 <b>Uuq</b>	244 402 <b>Uuq</b>	245 403 <b>Uuq</b>	246 404 <b>Uuq</b>	247 405 <b>Uuq</b>	248 406 <b>Uuq</b>	249 407 <b>Uuq</b>	250 408 <b>Uuq</b>	251 409 <b>Uuq</b>	252 410 <b>Uuq</b>	253 411 <b>Uuq</b>	254 412 <b>Uuq</b>	255 413 <b>Uuq</b>	256 414 <b>Uuq</b>	257 415 <b>Uuq</b>	258 416 <b>Uuq</b>	259 417 <b>Uuq</b>	260 418 <b>Uuq</b>	261 419 <b>Uuq</b>	262 420 <b>Uuq</b>	263 421 <b>Uuq</b>	264 422 <b>Uuq</b>	265 423 <b>Uuq</b>	266 424 <b>Uuq</b>	267 425 <b>Uuq</b>	268 426 <b>Uuq</b>	269 427 <b>Uuq</b>	270 428 <b>Uuq</b>	271 429 <b>Uuq</b>	272 430 <b>Uuq</b>	273 431 <b>Uuq</b>	274 432 <b>Uuq</b>	275 433 <b>Uuq</b>	276 434 <b>Uuq</b>	277 435 <b>Uuq</b>	278 436 <b>Uuq</b>	279 437 <b>Uuq</b>	280 438 <b>Uuq</b>	281 439 <b>Uuq</b>	282 440 <b>Uuq</b>	283 441 <b>Uuq</b>	284 442 <b>Uuq</b>	285 443 <b>Uuq</b>	286 444 <b>Uuq</b>	287 445 <b>Uuq</b>	288 446 <b>Uuq</b>	289 447 <b>Uuq</b>	290 448 <b>Uuq</b>	291 449 <b>Uuq</b>	292 450 <b>Uuq</b>	293 451 <b>Uuq</b>	294 452 <b>Uuq</b>	295 453 <b>Uuq</b>	296 454 <b>Uuq</b>	297 455 <b>Uuq</b>	298 456 <b>Uuq</b>	299 457 <b>Uuq</b>	300 458 <b>Uuq</b>	301 459 <b>Uuq</b>	302 460 <b>Uuq</b>	303 461 <b>Uuq</b>	304 462 <b>Uuq</b>	305 463 <b>Uuq</b>	306 464 <b>Uuq</b>	307 465 <b>Uuq</b>	308 466 <b>Uuq</b>	309 467 <b>Uuq</b>	310 468 <b>Uuq</b>	311 469 <b>Uuq</b>	312 470 <b>Uuq</b>	313 471 <b>Uuq</b>	314 472 <b>Uuq</b>	315 473 <b>Uuq</b>	316 474 <b>Uuq</b>	317 475 <b>Uuq</b>	318 476 <b>Uuq</b>	319 477 <b>Uuq</b>	320 478 <b>Uuq</b>	321 479 <b>Uuq</b>	322 480 <b>Uuq</b>	323 481 <b>Uuq</b>	324 482 <b>Uuq</b>	325 483 <b>Uuq</b>	326 484 <b>Uuq</b>	327 485 <b>Uuq</b>	328 486 <b>Uuq</b>	329 487 <b>Uuq</b>	330 488 <b>Uuq</b>	331 489 <b>Uuq</b>	332 490 <b>Uuq</b>	333 491 <b>Uuq</b>	334 492 <b>Uuq</b>	335 493 <b>Uuq</b>	336 494 <b>Uuq</b>	337 495 <b>Uuq</b>	338 496 <b>Uuq</b>	339 497 <b>Uuq</b>	340 498 <b>Uuq</b>	341 499 <b>Uuq</b>	342 500 <b>Uuq</b>	343 501 <b>Uuq</b>	344 502 <b>Uuq</b>	345 503 <b>Uuq</b>	346 504 <b>Uuq</b>	347 505 <b>Uuq</b>	348 506 <b>Uuq</b>	349 507 <b>Uuq</b>	350 508 <b>Uuq</b>	351 509 <b>Uuq</b>	352 510 <b>Uuq</b>	353 511 <b>Uuq</b>	354 512 <b>Uuq</b>	355 513 <b>Uuq</b>	356 514 <b>Uuq</b>	357 515 <b>Uuq</b>	358 516 <b>Uuq</b>	359 517 <b>Uuq</b>	360 518 <b>Uuq</b>	361 519 <b>Uuq</b>	362 520 <b>Uuq</b>	363 521 <b>Uuq</b>	364 522 <b>Uuq</b>	365 523 <b>Uuq</b>	366 524 <b>Uuq</b>	367 525 <b>Uuq</b>	368 526 <b>Uuq</b>	369 527 <b>Uuq</b>	370 528 <b>Uuq</b>	371 529 <b>Uuq</b>	372 530 <b>Uuq</b>	373 531 <b>Uuq</b>	374 532 <b>Uuq</b>	375 533 <b>Uuq</b>	376 534 <b>Uuq</b>	377 535 <b>Uuq</b>	378 536 <b>Uuq</b>	379 537 <b>Uuq</b>	380 538 <b>Uuq</b>	381 539 <b>Uuq</b>	382 540 <b>Uuq</b>	383 541 <b>Uuq</b>	384 542 <b>Uuq</b>	385 543 <b>Uuq</b>	386 544 <b>Uuq</b>	387 545 <b>Uuq</b>	388 546 <b>Uuq</b>	389 547 <b>Uuq</b>	390 548 <b>Uuq</b>	391 549 <b>Uuq</b>	392 550 <b>Uuq</b>	393 551 <b>Uuq</b>	394 552 <b>Uuq</b>	395 553 <b>Uuq</b>	396 554 <b>Uuq</b>	397 555 <b>Uuq</b>	398 556 <b>Uuq</b>	399 557 <b>Uuq</b>	400 558 <b>Uuq</b>	401 559 <b>Uuq</b>	402 560 <b>Uuq</b>	403 561 <b>Uuq</b>	404 562 <b>Uuq</b>	405 563 <b>Uuq</b>	406 564 <b>Uuq</b>	407 565 <b>Uuq</b>	408 566 <b>Uuq</b>	409 567 <b>Uuq</b>	410 568 <b>Uuq</b>	411 569 <b>Uuq</b>	412 570 <b>Uuq</b>	413 571 <b>Uuq</b>	414 572 <b>Uuq</b>	415 573 <b>Uuq</b>	416 574 <b>Uuq</b>	417 575 <b>Uuq</b>	418 576 <b>Uuq</b>	419 577 <b>Uuq</b>	420 578 <b>Uuq</b>	421 579 <b>Uuq</b>	422 580 <b>Uuq</b>	423 581 <b>Uuq</b>	424 582 <b>Uuq</b>	425 583 <b>Uuq</b>	426 584 <b>Uuq</b>	427 585 <b>Uuq</b>	428 586 <b>Uuq</b>	429 587 <b>Uuq</b>	430 588 <b>Uuq</b>	431 589 <b>Uuq</b>	432 590 <b>Uuq</b>	433 591 <b>Uuq</b>	434 592 <b>Uuq</b>	435 593 <b>Uuq</b>	436 594 <b>Uuq</b>	437 595 <b>Uuq</b>	438 596 <b>Uuq</b>	439 597 <b>Uuq</b>	440 598 <b>Uuq</b>	441 599 <b>Uuq</b>	442 600 <b>Uuq</b>	443 601 <b>Uuq</b>	444 602 <b>Uuq</b>	445 603 <b>Uuq</b>	446 604 <b>Uuq</b>	447 605 <b>Uuq</b>	448 606 <b>Uuq</b>	449 607 <b>Uuq</b>	450 608 <b>Uuq</b>	451 609 <b>Uuq</b>	452 610 <b>Uuq</b>	453 611 <b>Uuq</b>	454 612 <b>Uuq</b>	455 613 <b>Uuq</b>	456 614 <b>Uuq</b>	457 615 <b>Uuq</b>	458 616 <b>Uuq</b>	459 617 <b>Uuq</b>	460 618 <b>Uuq</b>	461 619 <b>Uuq</b>	462 620 <b>Uuq</b>	463 621 <b>Uuq</b>	464 622 <b>Uuq</b>	465 623 <b>Uuq</b>	466 624 <b>Uuq</b>	467 625 <b>Uuq</b>	468 626 <b>Uuq</b>	469 627 <b>Uuq</b>	470 628 <b>Uuq</b>	471 629 <b>Uuq</b>	472 630 <b>Uuq</b>	473 631 <b>Uuq</b>	474 632 <b>Uuq</b>	475 633 <b>Uuq</b>	476 634 <b>Uuq</b>	477 635 <b>Uuq</b>	478 636 <b>Uuq</b>	479 637 <b>Uuq</b>	480 638 <b>Uuq</b>	481 639 <b>Uuq</b>	482 640 <b>Uuq</b>	483 641 <b>Uuq</b>	484 642 <b>Uuq</b>	485 643 <b>Uuq</b>	486 644 <b>Uuq</b>	487 645 <b>Uuq</b>	488 646 <b>Uuq</b>	489 647 <b>Uuq</b>	490 648 <b>Uuq</b>	491 649 <b>Uuq</b>	492 650 <b>Uuq</b>	493 651 <b>Uuq</b>	494 652 <b>Uuq</b>	495 653 <b>Uuq</b>	496 654 <b>Uuq</b>	497 655 <b>Uuq</b>	498 656 <b>Uuq</b>	499 657 <b>Uuq</b>	500 658 <b>Uuq</b>	501 659 <b>Uuq</b>	502 660 <b>Uuq</b>	503 661 <b>Uuq</b>	504 662 <b>Uuq</b>	505 663 <b>Uuq</b>	506 664 <b>Uuq</b>	507 665 <b>Uuq</b>	508 666 <b>Uuq</b>	509 667 <b>Uuq</b>	510 668 <b>Uuq</b>	511 669 <b>Uuq</b>	512 670 <b>Uuq</b>	513 671 <b>Uuq</b>	514 672 <b>Uuq</b>	515 673 <b>Uuq</b>	516 674 <b>Uuq</b>	517 675 <b>Uuq</b>	518 676 <b>Uuq</b>	519 677 <b>Uuq</b>	520 678 <b>Uuq</b>	521 679 <b>Uuq</b>	522 680 <b>Uuq</b>	523 681 <b>Uuq</b>	524 682 <b>Uuq</b>	525 683 <b>Uuq</b>	526 684 <b>Uuq</b>	527 685 <b>Uuq</b>	528 686 <b>Uuq</b>	529 687 <b>Uuq</b>	530 688 <b>Uuq</b>	531 689 <b>Uuq</b>