



Première partie (10 points)

LES MATÉRIAUX DE LA TOUR EIFFEL

Questions (on s'aidera des documents ci-dessous)

1. Expliquer pourquoi Eiffel a choisi le fer puddlé pour construire la tour qui porte son nom.
2. Citer les constituants des aciers inoxydables.
3. Interpréter les expériences du **document 3** pour justifier la phrase du **document 2** : « le terme rouiller se réfère [...] à la corrosion du fer *en présence de dioxygène et d'eau* ».
4. Au cours de ce processus, des atomes de fer (Fe) se transforment en ions fer (II) (Fe^{2+}). Indiquer, en le justifiant, s'il s'agit d'une oxydation ou d'une réduction.
5. Écrire la demi-équation associée à cette transformation.
6. La cause probable de la corrosion du fer est la présence de dioxygène en milieu aqueux et acide. L'autre demi-équation électronique mise en jeu est alors :
$$\dots \text{O}_2 + \dots \text{H}^+ + \dots \text{e}^- = \dots \text{H}_2\text{O}.$$
Compléter cette demi-équation en indiquant les nombres stœchiométriques.
7. Écrire l'équation de la réaction d'oxydoréduction entre le métal fer (Fe) et le dioxygène.
8. Expliquer en quoi consiste le mécanisme de passivation de certains métaux.
9. Donner le nom du principal constituant du verre.
10. Expliquer l'intérêt d'utiliser du verre feuilleté lors de la rénovation de la Tour Eiffel.

Document 1. Choisie parmi 107 projets, la Tour Eiffel a couronné l'Exposition Universelle de Paris en 1889. Point d'orgue d'une époque, la construction de ce grand ouvrage, hymne au monde moderne, mais aussi symbole du fer et des expositions universelles, a nécessité l'emploi de 2 500 000 rivets qui ont permis de relier 18 038 pièces en fer *puddlé*, pré-assemblées.

Inventé par Henry Cort en 1784, le *puddlage* marque l'essor de la sidérurgie dans la première moitié du XIX^e siècle. Cette innovation anglo-saxonne portait sur l'affinage, à grande échelle, de la fonte élaborée dans les hauts fourneaux. Convenablement exécuté, un tel affinage permettait d'aboutir aux aciers, voire au fer si l'on poursuivait à l'extrême la décarburation.

Pratiquement exempt de carbone, le fer puddlé, matériau notamment décrit par Wurtz dans son dictionnaire de chimie, était plus rigide et de meilleure tenue à la corrosion atmosphérique que l'acier, autre innovation de l'époque. Il fut aussi choisi par Eiffel en raison de ses propriétés mécaniques, car on pouvait le façonner et le former en atelier, et surtout l'assembler par rivetage.

Document 2. Les métaux, autres que le fer, peuvent se corroder mais ne rouillent pas : le terme rouiller se réfère exclusivement à la corrosion du fer, en présence de dioxygène et d'eau, ou des alliages contenant du fer.

La rouille est un mélange complexe d'oxydes et d'hydroxydes de fer. Contrairement aux autres oxydes métalliques, elle est poreuse, volumineuse, a tendance à absorber l'humidité et n'adhère pas au métal.

Modèle CCYC : ©DNE

Nom de famille (naissance) :

(Suivi s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

N° candidat :

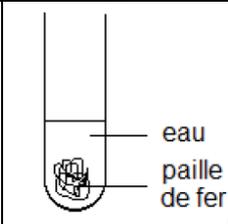
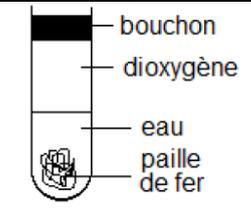
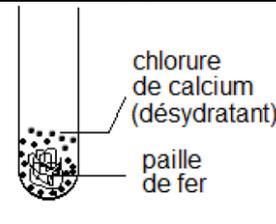
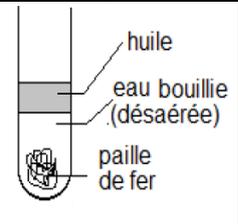
N° d'inscription :



Né(e) le :

(Les numéros figurent sur la convocation.)

1.1

Document 3.	(1)	(2)	(3)	(4)
Expérience				
<p>Indice de formation de la rouille : de 0 (pas de rouille) à 3 (beaucoup de rouille)</p>				
Au bout de deux jours	1	2	0	0
Au bout d'une semaine	2	3	0	0

Document 4. Gustave Eiffel a conscience que la longévité de sa tour est indissociable de la bonne conservation de la structure de fer. En 1900, dans son ouvrage « La Tour de trois cents mètres », il écrit : « On ne saurait trop se pénétrer du principe que la peinture est l'élément essentiel de la conservation d'un ouvrage métallique et que les soins qui y sont apportés sont la seule garantie de sa durée ».

L'entretien de la surface de la Tour Eiffel comporte deux étapes : une préparation mécanique, puis un revêtement de peinture. La préparation mécanique débute par un piquage au marteau, afin d'éliminer les écailles, puis un « discage », qui achève la mise à nu du métal.

La peinture appliquée en 2002 et 2009 est une formule sans pigments de plomb, remplacés par du phosphate de zinc comme agent anticorrosion, plus résistante à la pollution atmosphérique que les peintures utilisées par le passé.

Document 5. Rénovation de la Tour Eiffel

Afin d'inviter les visiteurs à rester au premier étage, les architectes ont imaginé de leur faire vivre l'expérience du vide central grâce à un plancher en verre installé en périphérie de ce vide, complété de garde-corps également vitrés.

Les nouveaux planchers, qui remplaceront des éléments mis en œuvre lors de la rénovation de 1982, seront constitués de trois couches de verre dont la résistance a été augmentée grâce à un film Sentyglass. [...] Les garde-corps vitrés, hauts de 2,65 m et inclinés de 17 ° vers le vide se divisent en deux : ils sont en vitrage trifeuilleté jusqu'à 1,10 m et en bifeuilleté au-dessus.

Revue « Le Moniteur » du 31 mai 2013.



Deuxième partie (sur 10 points)

IMAGERIE SCIENTIFIQUE

Questions (on s'aidera des documents ci-dessous)

1. Dans le document 2, l'examen de l'œuvre est réalisé avec de la lumière visible. Rappeler les longueurs d'onde limites de ce domaine ainsi que les couleurs associées.
2. Préciser les informations qu'un tel examen permet de recueillir sur l'œuvre analysée.
3. Les documents 3 et 4 évoquent le phénomène de fluorescence qui est un type de luminescence. Définir le terme « luminescence ».
4. Indiquer, à l'aide du document 3, quelles informations peut apporter ce type d'examen sur l'histoire de l'œuvre étudiée.
5. À l'aide des données du document 4, vérifier que le rayonnement réémis par les objets analysés appartient bien au domaine des infrarouges.
6. Indiquer à l'aide du document 6 à quoi peuvent servir les rayons X dans le domaine des arts.
7. Placer, dans l'ordre, sur un axe gradué en longueurs d'onde les différents domaines cités dans les documents 2, 3, 4 et 6 : visible, UV, IR et rayons X. Aucune valeur de longueur d'onde limite de domaine n'est exigée dans cette question.
8. Déterminer à l'aide des documents 1, 5 et 6 si les rayons X utilisés dans le laboratoire du C2RMF pourraient être utilisés pour réaliser une mammographie.

Document 1 - Formules

$E = h \times \nu$ avec $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s avec :
 E : énergie d'un photon associé à l'onde
 ν : fréquence de l'onde

$\lambda = c / \nu$ avec λ : longueur d'onde

Équivalence entre électron-volt et joule : $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$

Modèle CCYC : ©DNE

Nom de famille (naissance) :

(Suivi s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

N° candidat :

N° d'inscription :



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le :

(Les numéros figurent sur la convocation.)

1.1

Document 2 - Photographie en lumière rasante

En utilisant la lumière visible, les photographies rasantes sont utilisées pour enregistrer le relief de surface d'un objet. Celles-ci sont réalisées de manière systématique sur les peintures de chevalet. Elles sont faites sous deux angles d'éclairage au moyen d'un faisceau lumineux dirigé formant un angle d'environ 10 degrés avec la surface. Elles permettent de localiser les moindres reliefs de la couche picturale (craquelures, soulèvements, cloques), ainsi que les déformations du support et les accidents (déchirures, rayures, enfoncements). La lumière rasante permet aussi d'apprécier l'écriture du peintre, caractérisée par le sens du relief de la touche, les empâtements ou certains gestes techniques.



Fig. 1. Photographie visible (gauche) et rasante (droite) révélant le réseau de craquelures.
Portrait de Joséphine, Andréa Appiani, château de Malmaison (Inv. M.M.2003.2.1). Image C2RMF/Elsa Lambert.

D'après <http://technologies.c2rmf.fr>

Document 3 - Fluorescence de l'ultraviolet (UV) vers le visible

La photographie de la fluorescence sous UV dans le visible (envoi d'UV à 365 nm et enregistrement dans le visible) est très utile pour repérer les matériaux organiques comme les vernis, les colles ou certains pigments et colorants (blanc de zinc, carmin, garance...) qui ont la propriété de fluorescer sous UV. Les images obtenues permettent d'analyser les peintures. Par exemple, les vernis classiques en peinture ont la propriété de fluorescer suivant deux paramètres : l'épaisseur et le temps. Plus le vernis est ancien, plus il fluoresce sous UV et plus il est épais, plus il fluoresce également. L'intensité de la fluorescence dépendant de deux paramètres, il n'est pas possible d'en déduire directement l'ancienneté de l'œuvre. Cependant, des différences de fluorescence de vernis sur un tableau permettent de repérer des interventions antérieures invisibles à l'œil nu, qui signent généralement des emplacements d'anciennes restaurations. Sur les objets, les fluorescences sous UV permettent d'observer des traces de colles d'anciennes restaurations, des badigeons ou d'autres matériaux généralement organiques comme de la cire d'abeille, des résines, de la gomme laque ou des matières grasses.

D'après <http://technologies.c2rmf.fr>



Document 4 - Fluorescence du visible vers l'infrarouge

Les pigments antiques synthétiques « bleu égyptien » et « bleu de Han » sont reconnaissables en imagerie grâce à leur fluorescence particulière, du visible vers l'infrarouge. En effet, leur composé principal, la cuprorivaïte, réagit à un rayonnement de longueur d'onde d'excitation égale à 610 nm, en réémettant par fluorescence un rayonnement à 960 nm. Cette fluorescence permet de repérer des petits grains résiduels provenant d'anciennes polychromies.



Fig. 2. Photographie visible (gauche) et photographie de la fluorescence sous lumière visible dans l'infrarouge (LIR) servant à repérer le pigment Bleu égyptien (en blanc).
*Cercueil de femme anonyme, musée du Louvre. Image C2RMF/Anne Maigret.
D'après <http://technologies.c2rmf.fr>*

Document 5 - Quelques informations sur les examens radiographiques appliqués à l'Homme

Pour réussir un examen radiographique, il faut adapter l'énergie E des photons des rayons X utilisés en fonction de la partie du corps analysée. Voici quelques exemples :

Sein (mammographie) : des rayons X peu énergétiques sont employés (énergie E comprise entre 30 keV et 40 keV).

Thorax : l'examen de cette partie du corps nécessite l'emploi de rayons X de haute énergie, soit E comprise entre 120 keV et 150 keV.

Colonne vertébrale : son examen nécessite l'emploi de rayons X d'énergie moyenne, soit E autour de 70 keV.

D'après <http://www.sfrnet.org>

Modèle CCYC : ©DNE

Nom de famille (naissance) :

(Suivi s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

N° candidat :

N° d'inscription :



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le :

(Les numéros figurent sur la convocation.)

1.1

Document 6 - Imagerie à rayons X

La radiographie est une image obtenue par transmission à travers l'ensemble de l'épaisseur de l'œuvre. Un faisceau de rayons X traverse l'œuvre dont les constituants absorbent plus ou moins le rayonnement en fonction de leur composition chimique et de leur épaisseur. Ces variations d'absorption sont enregistrées par un détecteur (film argentique ou capteur numérique) placé à l'arrière de l'objet étudié. Pour l'étude des œuvres peintes (2D), la radiographie apporte des informations sur l'état de conservation du support et de la couche picturale, mais également sur les techniques d'élaboration de l'œuvre).



Fig. 3. Photographie (gauche) et radiographie (droite) montrant une composition sous-jacente. *Cherchez d'abord votre Orphée*, Francis Picabia, musée Pierre-André Benoit. Images C2RMF/Pascal Lemaître (photographie) et Gérard Puniet (radiographie).

Concernant l'étude des objets d'art et d'archéologie (3D), le principe et le dispositif sont les mêmes que pour les peintures. Toutefois, les énergies utilisées sont bien supérieures et permettent de traverser des matériaux très denses (métal) ou de forte épaisseur (marbre). [...] De même, les renseignements apportés par la radiographie varient en fonction de la nature des matériaux de l'objet étudié : on ne détecte pas les mêmes informations sur une œuvre en cire, en bois, en plâtre ou en métal. Cependant, le point commun à toutes ces études est de rendre visibles des éléments qui ne sont pas accessibles à l'œil nu, car situés à l'intérieur même de l'objet [...]. L'installation pour réaliser des radiographies 2D et 3D située au C2RMF, avec un générateur de rayons X puissant (longueurs d'onde du rayonnement comprises entre $\lambda_1 = 2,96 \times 10^{-12}$ m et $\lambda_2 = 1,24 \times 10^{-11}$ m), est rare. Elle offre de nouvelles perspectives pour l'étude des œuvres d'art et d'archéologie.

D'après <http://technologies.c2rmf.fr>