

Concours général STL SPCL 2018

Analyse de documents scientifiques – Coefficient : 1

Temps de préparation : 2 heures

Temps de présentation devant les examinateurs : 10 minutes

Échange avec les examinateurs : 15 minutes

Le cuivre de Nantes à Saint Nazaire

Certaines activités humaines émettent des espèces métalliques qui peuvent se propager dans l'environnement et se retrouver dans les sols et les sédiments. Les quantités mises en jeu sont très faibles, on parle de pollution diffuse. Ainsi en Pays de la Loire, des recherches sont en cours pour suivre le cuivre dans le bassin de la Loire, entre Nantes et Saint Nazaire.

Problématique : Vous travaillez pour la chambre d'agriculture et devez effectuer un exposé scientifique pour un public de viticulteurs bio du vignoble nantais sur l'usage du cuivre et son impact environnemental.

- Pour l'introduction de votre présentation, vous réaliserez brièvement, sur feuille A4, une représentation synthétique de la présence de l'élément cuivre dans l'estuaire de la Loire mettant en évidence la diversité de ses origines et son impact. Vous pourrez vous appuyer sur les documents 1, 2, 3 et 4.

- Vous détaillerez ensuite des arguments incitant à limiter la consommation du cuivre en viticulture. Pour cela, vous pourrez :

- aider les viticulteurs à faire le lien entre la masse recommandée en cuivre par hectare et par an et la masse de bouillie bordelaise correspondante (documents 4 et 5).
- en déduire l'économie effectuée dans le cadre du respect des recommandations de l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (AFSSA).
- comparer les teneurs en cuivre dans les moûts du raisin et le vin (document 6).

NB : Les mots suivis d'un astérisque sont définis dans le lexique (fin du dossier).

CONSIGNES ET CONSEILS POUR LA PREPARATION DE L'EPREUVE

La présentation orale doit être conduite de manière structurée en s'appuyant sur la représentation demandée sur feuille A4 et d'autres supports informatiques.

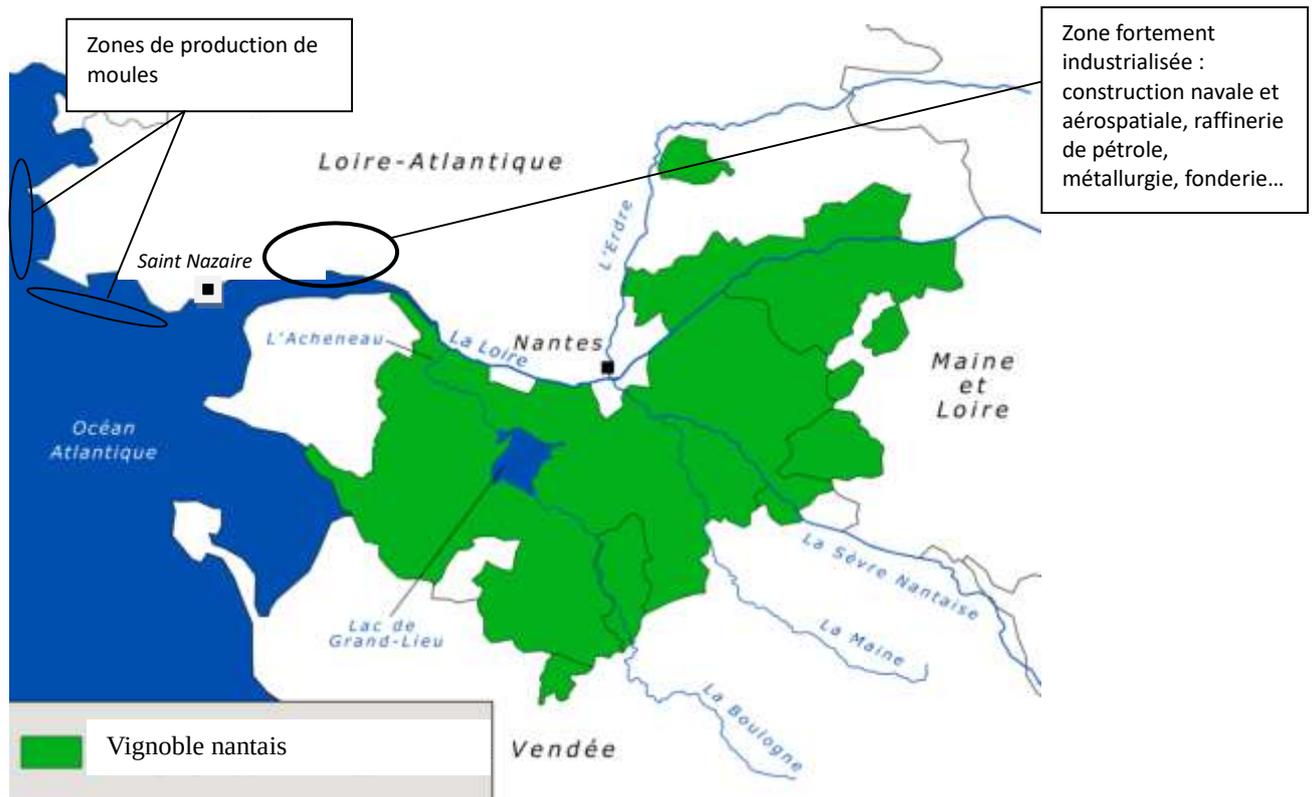
Le candidat peut écrire sur les documents, les surligner, mais il doit les remettre aux examinateurs en fin d'épreuve. Tous les supports produits (y compris les brouillons) pourront être conservés par le jury.

Les supports numériques de présentation orale seront élaborés en salle de préparation, puis transférés sur la clé USB fournie.

Le candidat doit conserver un peu de temps à la fin de sa préparation pour préparer sa présentation orale en ordonnant soigneusement tous les documents nécessaires.

À l'issue de l'épreuve, le candidat doit remettre aux examinateurs le dossier scientifique dans son intégralité.

DOCUMENT n° 1 : Carte de l'estuaire de la Loire



Estuaire : Un estuaire est une embouchure d'un fleuve se jetant dans le milieu marin et dans lequel les organismes qui y vivent sont sujets à des variations de salinité créées par les marées. L'estuaire est la partie terminale plus ou moins évasée d'un fleuve, caractérisée par la prédominance des phénomènes marins sur les phénomènes fluviaux.

DOCUMENT n° 2 : A la pêche au cuivre dans l'estuaire de la Loire

En février 2017, des chercheurs et étudiants du LEMAR (Laboratoire des Sciences de l'Environnement Marin) et du laboratoire Biogéochimie des Contaminants Métalliques du centre Ifremer Atlantique (Nantes) ont réalisé des prélèvements en différents points de l'estuaire de la Loire, à la recherche de traces de cuivre. « Nous observons une augmentation de la présence de cuivre dans l'estuaire ces 30 dernières années. Cette hausse est mise en évidence par l'analyse de bio-indicateurs (1) tels les huîtres ou les moules, qui filtrent l'eau et accumulent donc les contaminants », indique Joël Knoery, chercheur en biogéochimie marine à l'Ifremer.

La teneur en cuivre des moules de l'estuaire de la Loire a en effet quasiment doublé en trois décennies. Les scientifiques cherchent à remonter jusqu'aux sources du cuivre pour préciser le lien éventuel entre sa présence dans l'estuaire et les activités humaines qui en émettent.

Les teneurs en cuivre dans l'eau de mer à Saint Nazaire ont été mesurées à 0,5 ng/L et celles en eau douce dans la Loire à Nantes entre 2 et 2,5 ng/L (soit entre $3 \cdot 10^{-11}$ et $4 \cdot 10^{-11}$ mol/L).

Le cuivre peut par exemple provenir d'activités industrielles diverses, du trafic routier et maritime, des peintures antifouling (2) des bateaux ou encore de la viticulture. « Pour identifier l'origine des métaux retrouvés, il n'y a pas un traceur idéal. Nous explorons et recoupons deux pistes principales : d'une part la spéciation (doc.3) des métaux, c'est-à-dire la distinction des différentes formes chimiques qu'ils peuvent prendre dans l'environnement, notamment quand ils se lient à des molécules comme la matière organique*, et d'autre part leur composition isotopique (3)».

D'où vient ce cuivre ? Comment se propage-t-il dans la nature et jusqu'où va-t-il ? Quels sont ses impacts ? Comment traiter les milieux pollués ? Voici les grandes questions que se posent les chercheurs de POLLUSOLS, l'un des groupements de recherche français spécifiquement dédié aux pollutions diffuses dans le continuum terre-mer. Une cinquantaine de biologistes, chimistes, géologues, biogéochimistes, physiciens, ou encore sociologues issus de 16 laboratoires collaborent à ce projet impulsé et soutenu par la région Pays de la Loire pour 5 ans. Le projet étudie en particulier les polluants métalliques : métaux qui sont toxiques dès de faibles concentrations (plomb, mercure...), métaux qui sont des oligo-éléments* mais toxiques à fortes concentrations (cuivre, zinc...), et métaux radioactifs (uranium).

D'après <https://wwwz.ifremer.fr/Actualites-et-Agenda/Toutes-les-actualites/POLLUSOLS-les-polluants-metalliques-traques-de-la-terre-a-la-mer>

(1) Les indicateurs biologiques ou bio-indicateurs

Ce sont des espèces animales ou végétales témoins des variations des facteurs intervenant dans leur environnement. Les espèces aquatiques filtreurs comme les huîtres ou les moules, par exemple, reflètent de manière amplifiée dans leur organisme la concentration de substances présentes à des teneurs extrêmement faibles dans un milieu ou un rejet.

La moule a une répartition plus large et peut localement être utilisée dans des études. La solubilisation des chairs de ces bio-indicateurs en présence d'acides et de chaleur permet ensuite de doser le métal par des techniques d'analyse chimique très performantes. Depuis une décennie, on utilise notamment la spectrométrie de masse ou la spectrométrie d'émission atomique en plasma induit.

(2) Les peintures antifouling

Ces peintures permettent de lutter contre les salissures biologiques (« fouling » en anglais) qui se déposent sur les coques des navires et plus généralement sur toutes les structures immergées. Ces dépôts augmentent le coût énergétique du déplacement du bateau. Toutes les peintures antisalissures marines procèdent du même principe : libérer à la surface du matériau que l'on souhaite protéger, une substance toxique pour les bactéries et organismes animaux et végétaux qui souhaitent s'y fixer. Le cuivre fait partie de ces substances.

(3) La composition isotopique du cuivre

Le cuivre (Cu) possède 29 isotopes connus, de nombre de masse variant de 52 à 80. Parmi ces isotopes, seulement deux sont stables (c'est à dire non radioactifs), ^{63}Cu et ^{65}Cu , et constituent l'ensemble du cuivre naturel dans une proportion d'environ 70/30. Cette proportion varie légèrement selon les transformations physiques ou chimiques subies par le cuivre. Par exemple dans les rivières ou l'océan, les espèces contenant du cuivre sont plus riches en ^{65}Cu que celles des roches terrestres (granites, basaltes).

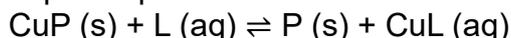
DOCUMENT n° 3 : Les formes du cuivre (spéciation) dans le sol et l'eau et les apports anthropiques

Dans le sol ou l'eau, le cuivre est présent sous la forme :

- d'espèces complexées avec la matière organique comme les acides citrique, malique ou oxalique de formule générale R-COOH (produits par les organismes vivants)
- d'espèces adsorbées (liaison en surface) sur les fines particules du sol. En effet, dans les eaux naturelles ou le sol, des particules solides sont toujours présentes en grand nombre (algues, bactéries, argiles, oxydes de fer,...). La plupart de ces particules présentent à leur surface des groupements fonctionnels de type -OH, -SH ou -COOH qui peuvent former des liaisons avec Cu^{2+} .

Le cuivre peut donc être soluble sous la forme d'espèces complexées notées CuL avec la matière organique ou insoluble lorsqu'il est adsorbé sur les fines particules notées P.

Des échanges entre ces deux espèces peuvent avoir lieu selon l'équilibre suivant :



Dans les sols, le cuivre n'est qu'à 1 ou 2 % sous forme soluble (ce pourcentage diminue lorsque le pH du milieu augmente car le cuivre passe sous la forme d'hydroxyde insoluble Cu(OH)_2).

Les quantités de cuivre appliquées dans les sols via les épandages* de boues industrielles et agricoles, le traitement par la bouillie bordelaise ($\text{CuSO}_4 + \text{Ca(OH)}_2$) de nombreuses zones agricoles et les rejets industriels amènent de nombreux sols à se trouver à des concentrations largement supérieures à celles du fond géochimique local.

Ainsi dans le vignoble nantais, des concentrations entre 200 et 500 mg/kg sont mesurées alors que le fond géochimique local est de 20 mg/kg.

L'influence de la spéciation du cuivre, en particulier de la fraction dite biodisponible susceptible d'impacter l'environnement est à prendre en compte. Ainsi, la bouillie bordelaise, les poussières de fonderie* et les résidus sableux sont les plus susceptibles de relarguer du cuivre dans l'environnement car ils contiennent principalement du cuivre sous forme CuSO_4 anhydre ou hydraté $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. L'addition de ces composés dans les sols va les acidifier fortement et favorisera les formes solubles et donc biodisponibles du cuivre. En revanche, les résidus très concentrés en cuivre ou les minéraux contiennent plutôt du cuivre insoluble et sont donc potentiellement moins riches en cuivre biodisponible.

Le sol et les rivières sont des réservoirs clés pour la diffusion des métaux dans l'environnement car ils sont au centre des échanges dans le cycle externe de ces métaux et sont par ailleurs à la base de la chaîne alimentaire.

DOCUMENT n° 4 : L'utilisation du cuivre en viticulture

Le cuivre est le seul produit efficace homologué dans la lutte biologique contre le mildiou* et la nécrose* bactérienne. Il est également reconnu pour avoir des effets secondaires sur le black-rot (pourriture noire). C'est donc un produit très précieux pour les viticulteurs en lutte biologique. Cependant il est pointé du doigt par l'AFSSA (Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments). Il est accusé de toxicité envers les micro-organismes du sol et les organismes aquatiques. Dans l'attente d'une alternative aussi efficace, nous devons l'utiliser avec beaucoup de précaution. Nous verrons donc comment il est possible de réduire les doses tout en maintenant une protection efficace, et limiter les conditions de toxicité dans les sols.

La réglementation en vigueur en France

La limite actuelle en cuivre, régie par le règlement européen (889/2008), est de 6 kg par hectare* et par an (6 kg/ha/an) sur une moyenne de 5 ans. Cette réglementation ne s'applique que pour les exploitations certifiées en agriculture biologique.

L'AFSSA recommande une limite annuelle de **4 kg/ha/an** et projette que cette limite soit stricte par an et non en moyenne sur plusieurs années.

Mais on constate une impossibilité actuelle de respecter 4 kg/ha/an de cuivre, et la proportion d'exploitations dépassant le seuil annuel de 4kg/ha de cuivre est élevée selon les années.

Années	Pourcentage d'exploitation ayant dépassé la limite en cuivre de 4 kg/ha/an
2008	>20 %
2009	15 à 20 %
2011	>15 %
2012	> 50 % et même > 70 % en Aquitaine

Pourtant 2009 et 2011 ont été des années à faible pression de mildiou.

Le mode d'action

Le cuivre est un produit de contact uniquement préventif. Il a un effet fongicide* sur les spores de mildiou et de black-rot. Le cuivre est aussi un oligo-élément* indispensable à la nutrition des plantes.

Les différentes formes de cuivre utilisées en viticulture

Composé cuivré	Formule	Produits	Propriétés	Utilisation	Prix HT
Sulfate de cuivre	CuSO ₄	Bouillie bordelaise	Peu phytotoxique*, bon rapport efficacité/lessivage*	A tout moment, très efficace contre le mildiou	6 €/kg
Hydroxyde de cuivre	Cu(OH) ₂	Champ Flo, KocideOpti	Peu phytotoxique, plus lessivable que la bouillie bordelaise, libère très rapidement les ions Cu ²⁺	- en début de saison - en cas de petites pluies - dans les 8h après les pluies si besoin	12 €/L
Oxyde cuivreux	Cu ₂ O	Nordox	Très phytotoxique, à éviter sur la fleur et en début de saison, difficile à homogénéiser dans la cuve	En été, à l'annonce d'une pluviométrie importante	18 €/kg

La différence entre chaque formulation tient dans la libération de l'ion cuivrique Cu^{2+} , la matière active des préparations. Cette libération est en effet plus ou moins rapide et/ou nécessite plus ou moins d'eau. Tout cela va donc jouer sur le lessivage et la rapidité d'action.

Ces différentes formes de cuivre peuvent être associées afin de cumuler les propriétés.

Toxicité dans les sols

Les teneurs en cuivre de la croûte continentale varient entre 2 et 120 mg/kg de matière sèche selon les différentes roches. La teneur moyenne est de 35 mg/kg de matière sèche. La valeur maximale tolérée par l'union européenne dans les sols agricoles est de 150 mg/kg.

L'origine des pollutions

L'agriculture n'est pas la seule responsable. La production mondiale de cuivre est toujours en augmentation. Ce qui signifie que de plus en plus de cuivre se retrouve dans l'environnement. Les fleuves déposent sur leur rives des boues contaminées par du cuivre, du fait du rejet d'eaux usées. Le cuivre pénétrerait dans l'air lors de la combustion de combustibles fossiles et se redéposerait sur les sols lorsqu'il pleut. Par ailleurs, les engrais contenant du cuivre sont toujours utilisés.

Le cuivre est principalement localisé dans les 10 premiers cm du sol. Au-delà, les teneurs chutent très fortement. 99 % du cuivre du sol est effectivement fixé sur différents sites préférentiellement sur la matière organique puis sur les oxydes de fer et de manganèse.

A très long terme et en cas de forte teneur en cuivre, il peut même intégrer la structure des feuillets d'argile. Le cuivre est donc très peu mobile dans le sol, seulement 1 % est ainsi biodisponible.

Toxicité pour l'homme

Chez l'homme, le cuivre peut être absorbé par voies digestive et pulmonaire (poussières ou fumées).

Le cuivre est un oligoélément essentiel intervenant dans de nombreux systèmes enzymatiques. L'apport alimentaire quotidien moyen (alimentation plus eau) se situe autour de 1 mg chez l'adulte.

Les pathologies respiratoires associées à l'exposition professionnelle au cuivre métallique et à ses sels sont assez peu décrites, malgré des usages extrêmement répandus et variés. L'exposition respiratoire répétée et sans protection à la bouillie bordelaise peut provoquer l'apparition d'une pneumoconiose appelée « vineyard sprayers's lung » ou poumon du viticulteur, comme cela a été décrit chez des applicateurs portugais.

Comment limiter les dégâts ?

Toutes les pratiques visant à entretenir ou améliorer la fertilité, la santé de vos sols seront utiles pour limiter la toxicité du cuivre :

- **apporter régulièrement de la matière organique***

- **veiller à la carbonatation du sol** (apport de chaux, $\text{Ca}(\text{OH})_2$) car les bases apportent de la stabilité au complexe organo-minéral et limitent la biodisponibilité des métaux comme le cuivre mais aussi l'aluminium et le manganèse.

Faites le test à l'acide, versez quelques gouttes d'un mélange moitié eau, moitié acide chlorhydrique sur une motte de terre. Si vous n'entendez rien ou ne voyez pas d'effervescence, il est urgent de faire des apports de chaux en respectant les doses selon votre sol.

- **favoriser tout ce qui va aider la vie microbienne** : travail du sol superficiel en début de printemps avec ou sans incorporation de matière organique ou de chaux ; aérer les vieux enherbements pour une meilleure pénétration de l'eau et de l'air etc...

Transfert vers les eaux

Le cuivre étant peu disponible dans les sols (1% de la teneur totale), il est peu concerné par le lessivage et l'infiltration vers les nappes phréatiques. Le danger est plus lié au ruissellement par érosion des sols nus et en pente. Attention aux sols battants* en pente, si vous ne pouvez pas enherber les inter-rangs toute l'année, privilégiez des travaux du sol qui vont laisser une structure grossière et ne pas « émietter » finement la terre. Le sol aura ainsi moins tendance à se fermer et cela limitera le ruissellement de surface en cas de grosse pluie. Le problème étant que l'on traite toujours avant les pluies ! Nous rappelons que l'enherbement des tournières* est obligatoire.

Observation des parcelles

Si le cuivre aux doses rencontrées posait véritablement un problème de fertilité, étant donné qu'il est localisé dans les couches superficielles du sol (10 premiers cm), l'herbe ne pourrait pousser, or ce n'est pas le cas dans les parcelles en viticulture biologique. La diversité et vigueur des plantes y est en général assez remarquable et est plus liée au type de sol qu'à leur teneur en cuivre...

Les rares études sur la biodiversité dans les systèmes biologiques montrent que :

« Malgré l'usage du cuivre, les vergers biologiques présentent une biodiversité (quantité et diversité d'espèces) supérieure à celle des systèmes conventionnels et en protection intégrée »
(Source : *Institut Technique de l'Agriculture Biologique*).

DOCUMENT n° 5 : La bouillie bordelaise

La bouillie bordelaise est constituée principalement de sulfate de cuivre pentahydraté $\text{Cu}(\text{SO}_4)_5\text{H}_2\text{O}$ et d'hydroxyde de calcium $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (appelé aussi chaux). C'est un fongicide* découvert en 1880 qui a été à l'origine utilisé pour protéger les vignes du mildiou.



Fiche produit :

Bouillie bordelaise sur des feuilles de vigne.

Composition	Cuivre de sulfate de cuivre neutralisé à la chaux
Nom homologué	BOUILLIE BORDELAISE MACC 80 JARDINS – Industrias Quinicas des Valles (Espagne)
N°A.M.M	9500302
Formulation	WP – Poudre mouillable
Classement	 Attention H410 Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme. EUH401 Respecter les instructions pour éviter les risques pour la santé humaine et l'environnement. Emploi autorisé dans les jardins
Cultures principales autorisées	Abricotier, cerisier, fraisier, frisée, melon, noisetier, noyer, olivier, pêcher, poirier, pomme de terre, pommier ...
Indication	Fongicide et bactéricide

* Conformément au règlement (CE) n°834/2007.

Principe du dosage des ions cuivre (II) par iodométrie dans une solution S_0 de bouillie bordelaise à 1 g.L^{-1}

On peut déterminer le pourcentage en masse de cuivre dans la bouillie bordelaise de la façon suivante.

Dans une fiole jaugée de 1,00 L, on introduit 1,0 g de bouillie bordelaise ; de l'eau distillée permet de remplir la fiole jusqu'au trait de jauge. On obtient une solution notée S_0 .

Le dosage des ions cuivre (II) par iodométrie peut être suivi par colorimétrie.

Mode opératoire :

Dans un bécher, introduire une prise d'essai $V_1 = 25,0 \text{ mL}$ de la solution S_0 .

Ajouter un large excès d'une solution d'iodure de potassium ($\text{K}^+_{(\text{aq})} + \text{I}^-_{(\text{aq})}$) soit 30 mL à 100 g.L^{-1} ($0,600 \text{ mol.L}^{-1}$). Attendre 10 minutes.

Titrer par une solution de thiosulfate de sodium ($2 \text{ Na}^+_{(\text{aq})} + \text{S}_2\text{O}_3^{2-}_{(\text{aq})}$) de concentration $C_2 = 1,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ en ions thiosulfate.

L'équation de la réaction traduisant la transformation chimique observée dans le bécher avant ajout de thiosulfate de sodium est : $2 \text{ Cu}^{2+}_{(\text{aq})} + 5 \text{ I}^-_{(\text{aq})} \rightarrow 2 \text{ CuI}_{(\text{s})} + \text{I}_3^-_{(\text{aq})}$ (Equation 1)

On observe alors la formation d'un précipité d'iodure de cuivre (I) et la solution devient jaunemarron à cause de la formation d'ions $\text{I}_3^-_{(\text{aq})}$.

L'équation de la réaction de dosage est : $\text{I}_3^-_{(\text{aq})} + 2 \text{ S}_2\text{O}_3^{2-}_{(\text{aq})} \rightarrow 3 \text{ I}^-_{(\text{aq})} + \text{S}_4\text{O}_6^{2-}_{(\text{aq})}$ (Equation 2)

On peut visualiser l'équivalence grâce à la disparition de la couleur jaune des ions I_3^- . On peut

ajouter de l'empois d'amidon juste avant l'équivalence pour mieux la visualiser.

Résultats expérimentaux :

On réalise le dosage des 25 mL de S_0 et on trouve le volume équivalent suivant : $V_e = 7,9$ mL.
La concentration molaire volumique C_0 en ions cuivre peut se calculer à partir des relations suivantes :

A l'équivalence : $C_2 V_e = 2 \cdot n(I_3^-)$ (d'après l'équation 2)

D'après la première réaction, $C_0 \cdot V_1 = 2 \cdot n(I_3^-)$ (d'après l'équation 1)

Donnée : Masse molaire atomique : $M(\text{Cu}) = 63,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

DOCUMENT n° 6 : Du cuivre dans le vin ?

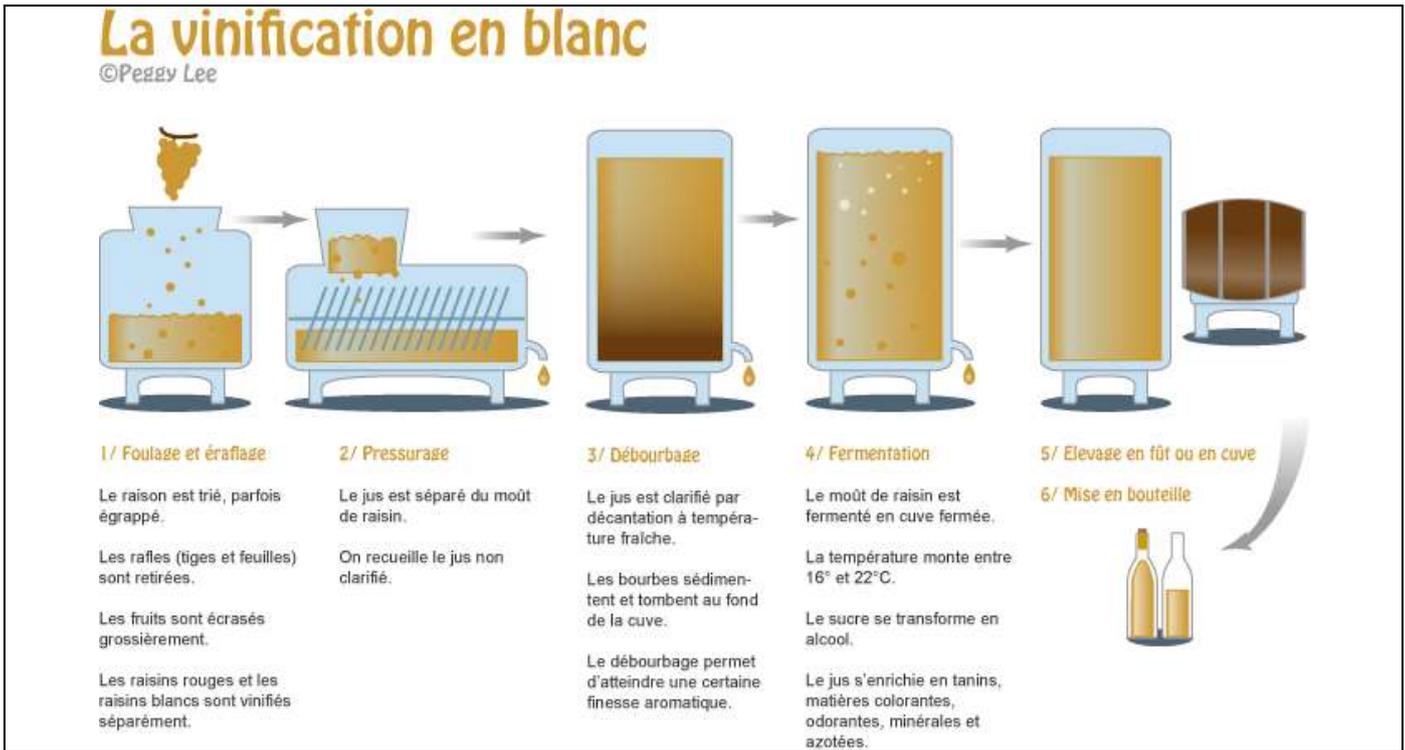
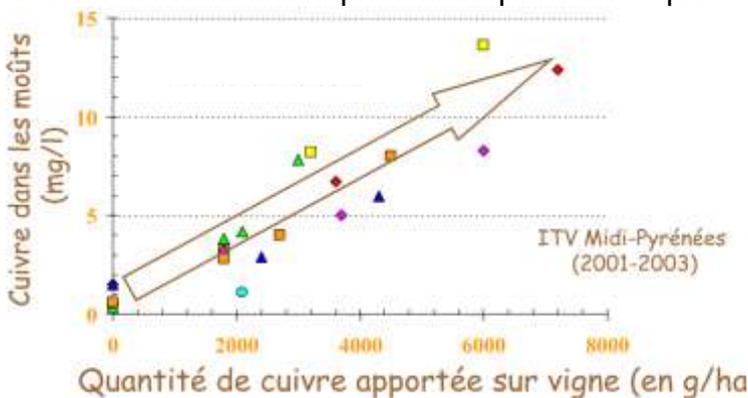


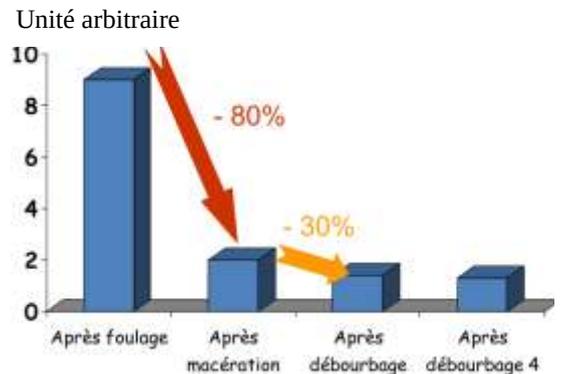
Figure 1 - Principales étapes de la vinification

Les moûts de raisin renferment toujours des doses importantes d'ions cuivriques Cu^{2+} ; quelques dixièmes de mg/L sont issus de la vigne, mais la majeure partie vient des différents traitements subis. Le dégorgage puis la fermentation en éliminent une grande partie.

Les teneurs en cuivre dans le vin étant très faibles, la méthode normalisée de dosage du cuivre dans le vin utilise la technique d'absorption atomique.



Graphique 1 - Concentration en cuivre dans les moûts en fonction du cuivre apporté à la vigne



Graphique 2 – Élimination du cuivre lors des opérations de débourbage

Principe d'un dosage par absorption atomique :

L'élément à étudier est sous forme d'ions en solution aqueuse. La solution est nébulisée (projetée en fines gouttelettes à l'aide d'un nébuliseur) dans une flamme. Les ions et les molécules y sont alors atomisés. On mesure ensuite l'absorption de l'élément quand il est éclairé par une source lumineuse de longueur d'onde spécifique caractéristique de l'élément étudié, choisie de façon à ce qu'il puisse absorber la radiation émise par la source (longueur d'onde de 324,7 nm pour le cuivre).

L'absorbance A de la solution suit une loi de type Beer-Lambert ($A = K.C_{Cu}$ où A est l'absorbance, C_{Cu} la concentration totale en élément cuivre, K un coefficient propre à chaque élément pour la longueur d'onde choisie). Cette loi n'est valable que pour des concentrations faibles, typiquement inférieure à 3 ppm (3 mg/kg).

Mode opératoire du dosage :

Soit une solution étalon S d'ions Cu^{2+} à la concentration de 10,00 mg/L.

La méthode préconisée dans le cas du vin, milieu complexe, est la méthode des ajouts dosés. Des quantités connues de la solution étalon S de Cu^{2+} sont ajoutées à des prélèvements identiques de l'échantillon de vin. Chaque solution est ensuite diluée jusqu'à un volume donné avant de mesurer en absorption atomique son absorbance.

Préparation des échantillons :

Fiole n° :	0	1	2	3	4
Volume d'échantillon de vin (mL)	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Volume de solution étalon S (mL)	0	1,00	2,00	3,00	4,00
Eau ultra pure	Compléter la fiole jaugée de 50 mL au trait de jauge				
$C_{E,i}$ concentrations massiques en Cu^{2+} apportés par S (mg/L)	0	0,200	0,400	0,600	0,800

Mesures effectuées et exploitation :

On mesure l'absorbance A_i de chacune des fioles i .

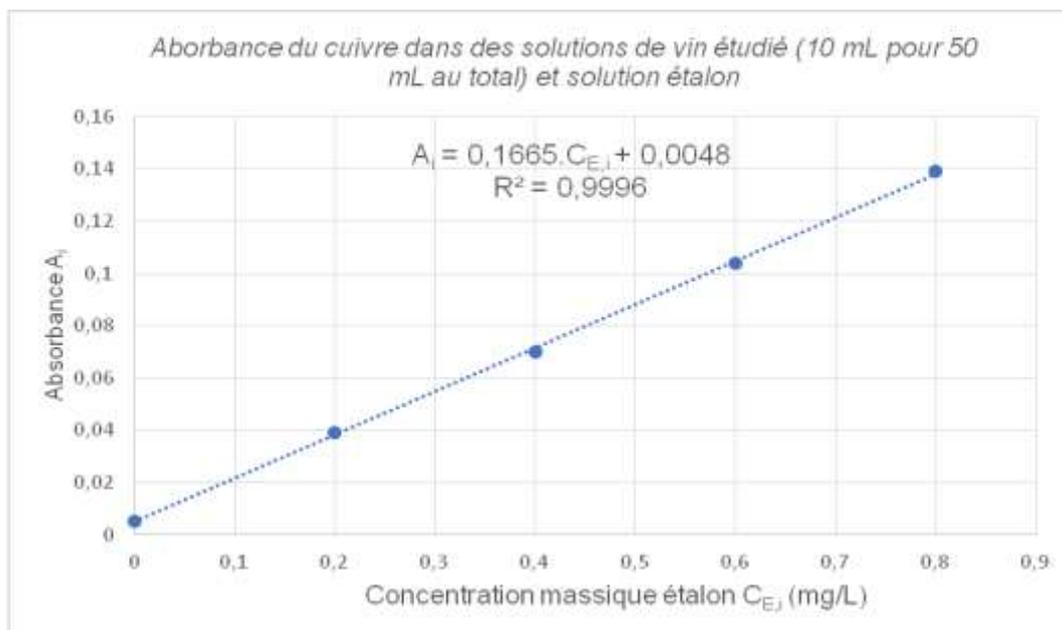
L'absorbance A_i de la solution de la fiole i peut se mettre sous la forme:

$$A_i = K \times C_{E,i} + K \times C_{\text{vin}}$$

La concentration massique en cuivre C_{vin} du vin analysé dans les différentes fioles étant constante, le tracé de $A_i = f(C_{E,i})$ est une droite d'équation $A_i = a \times C_{E,i} + b$ avec $a = K$ et $b = K \times C_{\text{vin}}$.

Résultats pour un vin blanc d'appellation Muscadet (vignoble nantais) :

Fiole n° :	0	1	2	3	4
$C_{E,i}$ (mg/L)	0	0,200	0,400	0,600	0,800
A_i	0,005	0,039	0,070	0,104	0,139



Graphique 3 – Absorbance mesurée pour les différents échantillons lors de l'analyse d'un vin blanc d'appellation Muscadet

LEXIQUE

Epandage : Action de répandre (engrais, fumier, boues...) sur un sol.

Fonderie : Usine où l'on fond le minerai (aciérie, forge), où l'on coule le métal en fusion.

Mildiou : Maladie causée par des champignons minuscules, et qui attaque diverses plantes. Spécialement pour la vigne : rouille des feuilles.

Nécrose : Mort d'un tissu vivant.

Hectare : Mesure de superficie équivalant à 10 000 m² (carré de 100 m de côté).

Oligo-élément : Les oligo-éléments ou micronutriments sont présents en très petite quantité dans l'organisme (élément-trace), et indispensables au bon fonctionnement de celui-ci.

Phytotoxique : qui est toxique pour la croissance des plantes.

Lessivage : Le lessivage est le transport des éléments du sol (sédiments, engrais, pesticides, etc.) par les eaux de surfaces (pluie).

Matière organique : La matière organique (MO) est la matière fabriquée par les êtres vivants (végétaux, animaux, champignons et autres décomposeurs dont micro-organismes).

Sol battant : sol de structure fine et instable ; un tassement se produit alors sous l'action des pluies ou du piétinement.

Tournière : Espace réservé en bordure d'une terre labourée ou cultivée pour pouvoir tourner la charrue ou une machine agricole.

Fongicide : Qui détruit les champignons parasites.

REMERCIEMENTS À

Gilles MONTAVON, Laboratoire de physique subatomique et des technologies associées (SUBATECH) de l'École des Mines de Nantes.

Thierry LEBEAU, Université de Nantes - Faculté des Sciences & Techniques, Coordinateur POLLUSOLS

Joël KNOERY, Laboratoire de Biogéochimie des Contaminants Métalliques, Ifremer, Centre Atlantique de Nantes

SOURCES

Delphine Jouvin (2009) Fractionnement isotopique du cuivre et du zinc lors de processus biogéochimiques dans les sols *thèse de géochimie Université Paris Diderot*

Magali Grinbaum (2015) Impact des itinéraires techniques sur la teneur en résidus dans les vins - *Journée technique VITI-OENO AREDVI*

Gaëlle BERRIAU (Décembre 2015) Résultats de recherche, *L'agriculture Biologique en Pays de Loire, Viticulture n°115*

Sujet CAPES Sciences Physique (2010)

www.inrs.fr/fichetox (03/2016) Base de données FICHES TOXICOLOGIQUES, *sur le site web de l'INRS*