Concours Commun INP (CCINP), France

Session 2000, filière PC

Chimie 2

Durée : 4 heures

Ce que traite le sujet

- Partie A : synthèse du vertinolide
- Partie B, I et II : cristal parfait et cristal réel de chlorure d'argent
- Partie B, III : cinétique du blanchiment

Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années :
prepahelp.com/annales/ccinp/pc/2000/chimie2

Prepa Help ne revendique aucun droit sur le sujet, propriété de l'organisateur du concours.

CONCOURS COMMUNS POLYTECHNIQUES

ÉPREUVE COMMUNE-FILIÈRES PC - TPC

CHIMIE 2

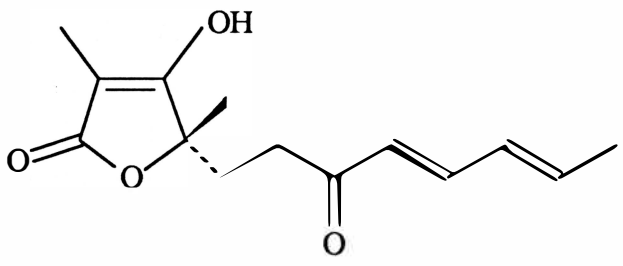
DURÉE : 4 heures

L'usage des calculatrices et des ordinateurs n'est pas autorisé.

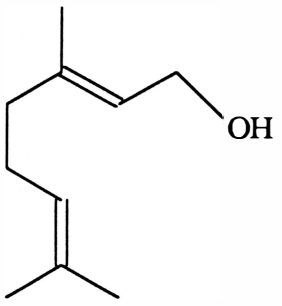
La partie B comporte un document-réponse à rendre avec la copie.

PARTIE A

Le vertinolide **A** est une mycotoxine, isolée en 1982 par Dreiding à partir du *verticillium intertextum*, qui a fait l'objet d'une synthèse à partir du géraniol **B** par Ganem (J. Org. Chem. **1983**, *48*, 3761-3764).



A



B

I. Synthèse du géraniol

Une des multiples synthèses du géraniol **B** (Linstrumelle - 1977) part du 1-chloro-3-méthyl-but-2-ène **C** : le magnésien de **C** réagit avec un composé **D** (comportant un OH non protégé) selon une réaction de type Würtz.

1. Donner la structure de **D**.
2. Rappeler le protocole expérimental à suivre pour la préparation de l'organomagnésien.
3. Le composé **D** comporte une fonction alcool.

Quelle réaction secondaire se produit alors avec le magnésien ? Quelle conséquence faut-il en tirer pour réussir la synthèse de **B** ?

Tournez la page S.V.P.

4. Décrire les opérations pratiques qui permettent d'isoler le géraniol du milieu réactionnel puis de le purifier. Le géraniol est un liquide qui bout à 230 °C sous pression atmosphérique.

5. Combien de stéréoisomères présente le composé **B** ?

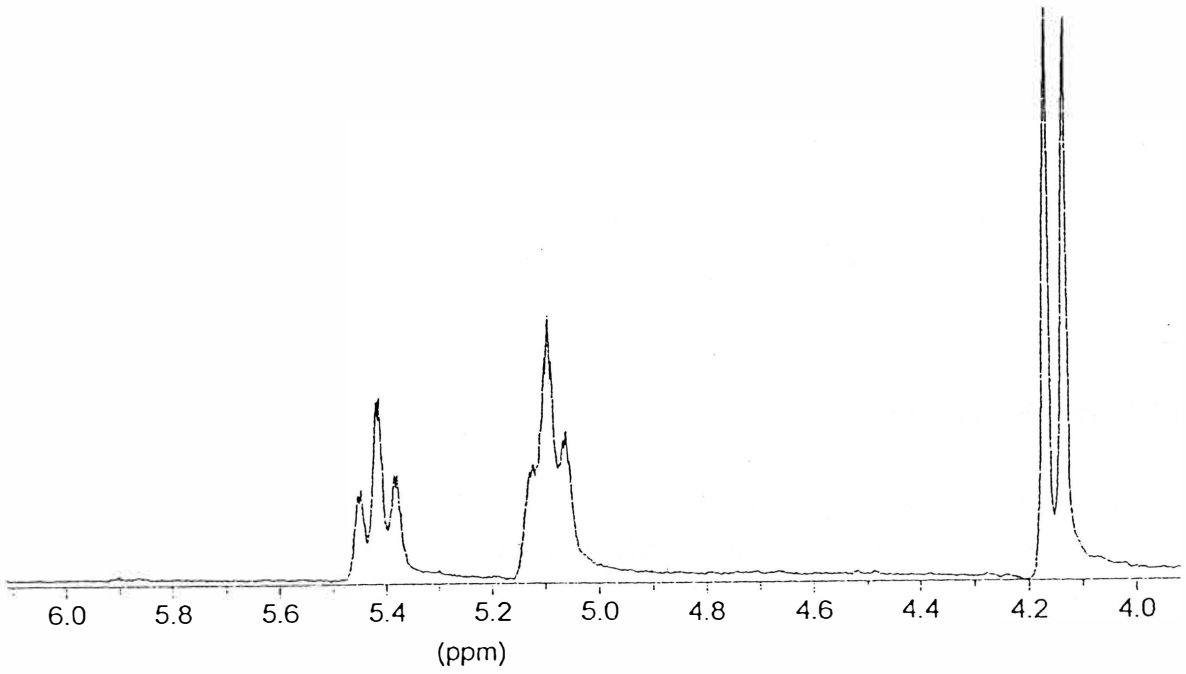
Quelle est la stéréochimie du composé **B** représenté ci-dessus ?

6. Le spectre RMN ^1H du géraniol, enregistré dans $CDCl_3$ sur un appareil de 200 MHz, présente trois signaux caractéristiques dans la région 4 à 5,5 ppm (voir figure ci-dessous).

Attribuer ces signaux à l'aide de la table figurant en annexe (page 5). Quelle est la multiplicité attendue pour chacun des signaux ? Le spectre est-il en accord avec votre interprétation ? Justifier.

spectre RMN du géraniol entre 4 et 6 ppm

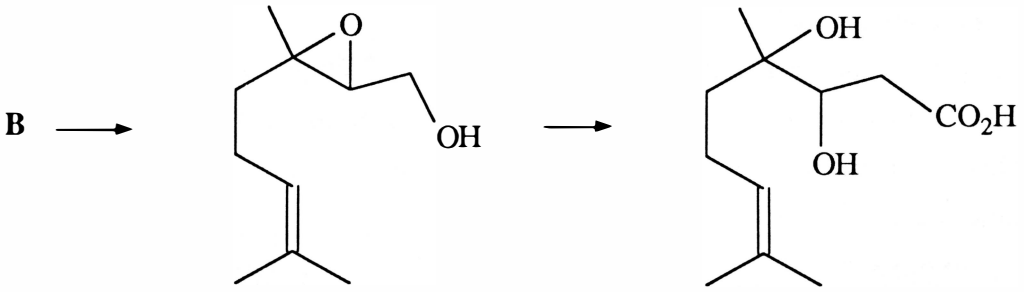
intégrations : 1H 1H 2H



7. L'écart des pics du signal centré à 4,14 ppm est de 0,037 ppm. En déduire la constante de couplage observée.

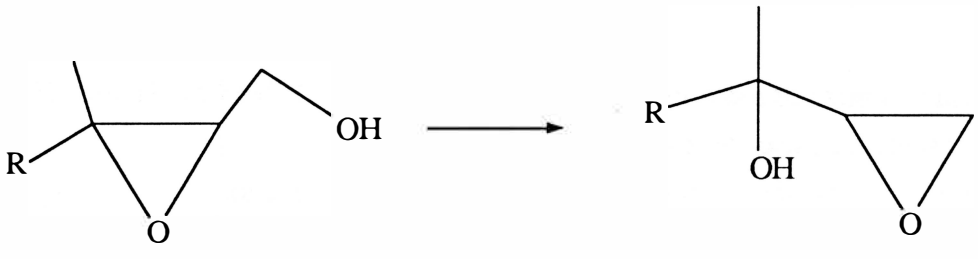
II. Synthèse de l'acide 3,4-dihydroxy-4,8-diméthylnon-7-ènoïque

Le géraniol subit ensuite les transformations suivantes :



E **F**

8. Quelle est la réaction qui permet de préparer le composé **E** à partir du géraniol ?
A quelle classe appartient ce composé **E** ?
9. Proposer un réactif permettant d'effectuer le type de réaction précédente.
10. La synthèse de **E** a pu être réalisée de manière à contrôler la stéréochimie des carbones asymétriques créés (méthode dite de Sharpless : seule la double liaison qui possède un OH allylique réagit). Représenter selon un modèle de type Cram le composé **E** de configuration 2S, 3S. On justifiera l'ordre de priorité retenu.
L'acide **F** est obtenu par réaction du composé **E** avec du cyanure de sodium en large excès dans un milieu éthanol - eau (25 - 75 v/v) porté à reflux pendant 5 h. L'obtention de **F** met en jeu plusieurs étapes successives qui se produisent "dans le même pot". La première étape du processus est une réaction d'isomérisation de **E** en **G** :



E **G**

Tournez la page S.V.P.

11. Cette isomérisation, décrite par Payne en 1962, se produit en milieu alcalin. Est-ce le cas pour la réaction effectuée ? Justifier en sachant que pK_a de HCN = 9,3.

12. Proposer un mécanisme d'isomérisation mettant en jeu la base conjuguée de **E**.

13. Si l'on part d'un composé **E** de configuration 2S,3S quelle sera la configuration des carbones asymétriques du composé **G** ?

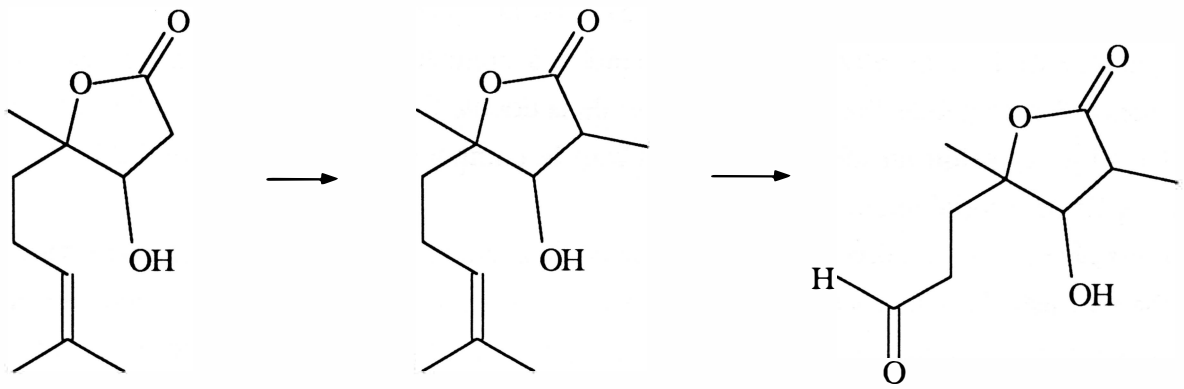
14. La formation de l'acide **F** à partir de **G** s'effectue en 2 étapes avant acidification du milieu. Lesquelles ?

15. Donner le mécanisme des 2 étapes précédentes.

16. Représenter l'acide **F** obtenu selon Cram.

III. Obtention du vertinolide

L'acide **F** est ensuite cyclisé sous forme de butyrolactone **H** par chauffage dans le benzène en présence d'acide paratoluène sulfonique (acide fort). La lactone subit alors les transformations suivantes :



H **I** **J**

17. Nommer (sans donner le mécanisme) la réaction qui permet d'obtenir la lactone **H** à partir de **F** ? Quel rôle joue l'acide lors de cette réaction ?

18. Quel autre produit pourrait-on obtenir selon le même type de réaction ?
Comment justifier l'obtention de **H** ?

19. Quel est le nom de la réaction mise en oeuvre pour former **I** à partir de **H** ? Comment réalise-t-on cette transformation dans le cas d'une cétone (préciser les réactifs et le solvant) ?

20. Proposer une méthode de synthèse de l'aldéhyde **J** à partir de **I**.

21. Le spectre IR de **J** présente en particulier 3 bandes d'absorption à 3425, 1764 et 1724 cm^{-1}. A quels types de liaisons attribuez vous ces absorptions ? (voir table ci-dessous)

22. En examinant les chaînes carbonées latérales du vertinolide et de l'aldéhyde **J** proposer une méthodologie permettant cet allongement de chaîne.

Annexe 1 : déplacements chimiques caractéristiques

(les atomes concernés figurent en gras)

types d'atomes d'hydrogène	domaine de déplacement chimique (ppm)
R-**C**H_3	0,8 - 1,0
R-**C**H_2-R'	1,2 - 1,4
R_3**C**H	1,4 - 1,7
R_2C=CR'**C**H_3	1,6 - 1,9
R-**C**H_2-OH	3,3 - 4,2
R-CH_2-O**H**	1,0 - 5,0
R_2C=**C**HR'	5,0 - 5,7

Annexe 2 : fréquences d'absorption infrarouge

(composés non aromatiques, non conjugués et non cycliques)

liaison	type de composé	fréquence (cm^{-1})
C-H	alcanes	2850 - 2960
=C-H	alcènes	3010 - 3100
C-C	alcanes	600 - 1500
C=C	alcènes	1620 - 1680
C-O	alcools,éthers,esters..	1000 - 1300
C=O	aldéhydes	1720 - 1740
C=O	cétones	1705 - 1725
C=O	esters	1735 - 1750
O-H	alcools	3200 - 3600

Tournez la page S.V.P.

PARTIE B

AVERTISSEMENT : *Aucune connaissance sur les phénomènes physiques et les mécanismes mis en jeu dans le photochromisme n'est nécessaire pour traiter ce problème. De plus, les différentes parties sont largement indépendantes. Dans tout le problème, la température est fixée, sauf indication contraire, à 300 K.*

Cette partie comporte un document-réponse à rendre avec la copie.

Les verres photochromes ont une importance économique reconnue dans le domaine de l'optique. Ces matériaux sont constitués d'une phase vitreuse inerte dans laquelle ont été précipités des nanocristaux photosensibles, donc de taille nanométrique (environ 10 nm), d'halogénure d'argent AgX dopé avec des ions Cu^+ **(cf. Schéma 1)**.

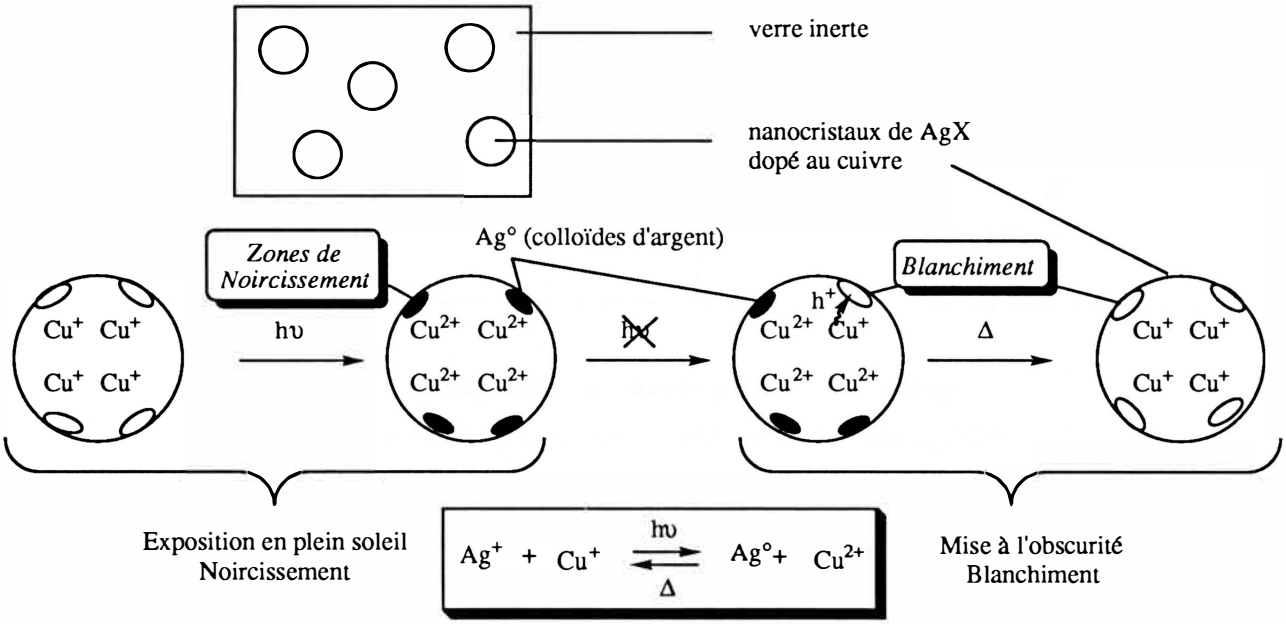


Schéma 1 : Représentation schématique d'un verre photochrome

Leur propriété originale est de se colorer ***(noircissement)***, sous l'effet d'une excitation lumineuse, puis de se décolorer lorsque l'irradiation cesse ***(blanchiment)***, sous l'effet de l'agitation thermique ambiante.

Le noircissement est dû à la formation de colloïdes d'argent (assemblages d'atomes d'argent, notés Ag°) en surface des nanocristaux. Le processus est voisin de celui de la photographie, mais dans ce dernier cas les particules photosensibles sont beaucoup plus grosses (environ 10^3 nm) et surtout, l'absence de dopant et les propriétés particulières de la gélatine empêchent la réversibilité de la réaction, assurant ainsi la pérennité de l'impression.

On se propose d'étudier les processus mis en jeu dans les verres photochromes.

DONNEES

- **Rayons ioniques en nm :** $r(Ag^+) = 0{,}115$ et $r(Cl^-) = 0{,}180$ pour la coordinence 6 ; $r(Ag^+) = 0{,}100$ pour la coordinence 4.
- **Numéros atomiques :** du cuivre : $Z_{Cu} = 29$; de l'argent $Z_{Ag} = 47$.
- **Constante des gaz parfaits :** $R = 8\ J.K^{-1}.mol^{-1}$
- **Données thermodynamiques :** Enthalpie et entropie molaires standard de formation de paires de Frenkel (notées respectivement $\Delta_f H^\circ_{Fr}$ et $\Delta_f S^\circ_{Fr}$) [cf. Equilibre (1)] et nombre de sites cationiques par nanocristal, N_c :

Composé	$\Delta_f H^\circ_{Fr}$	$\Delta_f S^\circ_{Fr}$	N_c (Photochromisme)	N_c (Photographie)
AgCl	$140\ kJ \cdot mol^{-1}$	$90\ J.K^{-1}.mol^{-1}$	10^4	10^{10}

- **Energie d'activation** (en $kJ.mol^{-1}$) :
  Energie d'activation associée à la migration des ions Ag^+ interstitiels : $E_{Ag_i^+} = 6$;
  Energie d'activation associée à la migration des défauts de charge négative h^+ : $E_{h^+} = 36$.
- **Données numériques :** $\exp(-23{,}5) = 6 \cdot 10^{-11}$; $\sqrt{2} = 1{,}4$

I - Le cristal parfait d'halogénure d'argent

I - 1 Le chlorure d'argent, AgCl, présente une structure de type NaCl jusqu'à sa température de fusion.

I - 1*a)* Quels sont les ions constitutifs du réseau-hôte du chlorure d'argent ? Préciser leur mode d'empilement ?

I - 1*b)* Quels sites de ce réseau occupent alors les autres ions ?

I - 1*c)* Déterminer le nombre de motifs AgCl par maille.

I - 2 Représenter en perspective, **sur le document-réponse (Figure 1) à rendre avec la copie**, la maille élémentaire de paramètre $a/2$ du chlorure d'argent.

I - 3 Rayon ionique de Ag^+

I - 3*a)* Exprimer la valeur maximale géométriquement possible du rayon $r^{max}_{Ag^+}$ de l'ion Ag^+ dans le réseau AgCl en fonction du paramètre de maille a et du rayon des ions Cl^-.

Tournez la page S.V.P.

I - 3*b*) Expérimentalement, on trouve que le paramètre de maille de AgCl vaut : $a_{AgCl} = 0{,}555$ nm. En déduire la valeur de $r^{max}_{Ag^+}$ dans les cristaux de AgCl.

I - 3*c*) Que peut-on en conclure quant au caractère de la liaison Ag-Cl dans ce cristal ?

II - Le cristal réel d'halogénure d'argent

Dans cette partie, nous allons nous intéresser aux *nanoparticules cristallines de AgCl précipitées* au sein des verres photochromes. Ces nanocristaux de AgCl ne sont pas parfaits et il existe différents types de défauts :

- des défauts *intrinsèques*, dûs à un désordre thermodynamique, correspondant à la migration des ions Ag^+ des sites occupés de façon idéale dans le réseau-hôte, $Ag^+_{réseau}$, vers des sites interstitiels, Ag^+_i.

Cette migration s'accompagne de l'apparition de lacunes, V_{Ag}, les couples (Ag^+_i, V_{Ag}) portent le nom de paires de Frenkel. Ce phénomène est décrit par l'équilibre (1) :

$$Ag^+_{réseau} \rightleftarrows Ag^+_i + V_{Ag} \qquad (1)$$

- des défauts *extrinsèques,* dûs à la présence d'impuretés ou d'un agent dopant (par exemple les ions du cuivre) en position interstitielle ou en position de substitution dans le réseau AgCl.

II - 1 Etude des défauts.

II - 1*a*) Quels sont les sites interstitiels possibles dans le réseau AgCl ? Préciser leur coordinence.

II - 1*b*) Représenter en perspective la position de ces sites dans un cube d'arête $a/2$ en complétant la **Figure 2, (document-réponse)**.

II - 2 Déterminer le nombre N_i de ces sites interstitiels en fonction du nombre de sites cationiques N_c par nanocristal.

II - 3 Dans la suite, on considérera que l'activité des ions Ag^+ en position interstitielle et celle des lacunes sont respectivement égales à $a_{Ag^+_i} = \frac{n_{Ag^+_i}}{N_i}$ et $a_{V_{Ag}} = \frac{n_{V_{Ag}}}{N_c}$ et que l'activité des ions Ag^+en position idéale dans le réseau-hôte est égale à 1, soit $a_{Ag^+_{réseau}} = 1$.

II - 3*a*) Etablir, lorsque l'équilibre (1) est atteint, l'expression donnant le nombre de paires de Frenkel, n_F, au sein des nanocristaux en fonction de N_c, T, $\Delta_f H^\circ_{Fr}$, $\Delta_f S^\circ_{Fr}$ et R.

II - 3*b*) Calculer numériquement le nombre de paires de Frenkel dans le cas du photochromisme et de la photographie. Commenter les deux valeurs obtenues.

II - 4 La formation des colloïdes d'argent s'effectue à partir des ions Ag^+ qui migrent vers la surface du réseau, à travers les sites interstitiels selon une direction [111], c'est-à-dire suivant la diagonale de la maille cubique élémentaire. Au cours de ce déplacement concerté, un ion Ag_i^+ se dirige vers un site cationique du réseau initialement occupé et chasse l'ion $Ag^+_{réseau}$ qui s'y trouve vers un autre site interstitiel selon la même direction. Ce mécanisme est appelé "*mécanisme interstitiel colinéaire*".

II - 4*a)* Compléter, sur **le document-réponse, la Figure 3** représentant le déplacement d'un ion Ag^+ en position interstitielle selon le mécanisme colinéaire.

II - 4*b)* Représenter dans un plan judicieusement choisi, la projection de l'orifice laissé libre par les ions Cl^-, supposés indéformables, et permettant le passage de Ag^+.

II - 4*c)* La taille de cet orifice (de l'ordre de 0,047 nm) est nettement inférieure au rayon ionique de Ag^+. Des propriétés physiques des ions, quelle est celle qui permet d'expliquer le mieux la migration effective des ions Ag^+ ?

III - Etude cinétique du blanchiment

Le processus de noircissement et de blanchiment fait intervenir les ions du cuivre, *présents uniquement en simple substitution d'ions* $Ag^+_{réseau}$: c'est-à-dire Cu^+ introduits comme dopants, ainsi que les ions Cu^{2+} photoinduits qui en résultent.

Lorsque le verre photochrome est exposé à une irradiation lumineuse, le cuivre se trouve entièrement sous la forme de $\left[Cu^{2+}, V_{Ag}\right]$, donc associé à des lacunes d'argent V_{Ag} qui assurent l'électroneutralité du cristal.

En revanche, lorsque l'exposition à l'irradiation cesse, $\left[Cu^{2+}, V_{Ag}\right]$ revient à l'état de Cu^+, ce qui crée un défaut de charge négative, noté h^+. Ce défaut de charge migre alors vers les colloïdes d'argent Ag^o qui redonnent finalement Ag^+ selon la réaction :

$$Ag^\circ + h^+ \rightarrow Ag^+$$ d'où **blanchiment** (cf. Schéma 1).

Par une méthode physique appropriée, il a été possible de mettre en évidence deux types d'ions $\left[Cu^{2+}, V_{Ag}\right]$, notés $\left[Cu^{2+}_{(A)}, V_{Ag}\right]$ et $\left[Cu^{2+}_{(B)}, V_{Ag}\right]$ ou plus simplement $Cu^{2+}_{(A)}$ et $Cu^{2+}_{(B)}$, et de déterminer également leurs concentrations.

Tournez la page S.V.P.

Le mécanisme de transformation de ces ions est le suivant :

$$Cu^{2+}_{(A)} \xrightarrow[k_1]{Etape\,1} Cu^{2+}_{(B)} \xrightarrow[k_2]{Etape\,2} Cu^{+} + h^{+} \qquad (2)$$

$$Cu^{2+}_{(A)} \xrightarrow[k_3]{Etape\,3} Cu^{+} + h^{+} \qquad (3)$$

où k_j désigne les constantes cinétiques, E_{a_j} les énergies d'activation associées (j = 1 à 3).

III - 1 Etablir, ***sans le résoudre***, le système d'équations différentielles portant sur l'évolution des concentrations en $Cu^{2+}_{(A)}$, $Cu^{2+}_{(B)}$ et Cu^{+} en fonction de k_1, k_2 et k_3 [cf. Equilibres (2) et (3)].

III - 2 La résolution de ce système conduit à l'expression suivante de la concentration totale des ions Cu^{2+} en fonction du temps (où D_1 et D_2 sont deux constantes et $\alpha_1 = k_1 + k_3$ et $\alpha_2 = k_2$) :

$$[Cu^{2+}]_{total} = D_1 \exp(-\alpha_1 \cdot t) + D_2 \exp(-\alpha_2 \cdot t)$$

L'affinement des courbes expérimentales a permis d'obtenir α_1 et α_2 à différentes températures. Les représentations de $\ln\alpha_1$ et $\ln\alpha_2$ en fonction de 1/T sont des droites de pentes égales respectivement à $-5 \cdot 10^3$ et $-4 \cdot 10^3$. On admettra que E_{a_1} est peu différente de E_{a_3} [cf. Eq. (3) et Eq.(4)].

III-2*a)* Déterminer les valeurs numériques des énergies d'activation E_{a_1} et E_{a_2}.

III-2*b)* En comparant ces valeurs à l'énergie d'activation associée à la migration des défauts de charges négatives h^+ et à celle associée à la migration des ions Ag_i^+, laquelle des deux propositions suivantes semble la plus réaliste ? Justifier.

A- le mécanisme de blanchiment est fortement gouverné par la migration de Ag_i^+.

B- le mécanisme de blanchiment est fortement gouverné par la migration des défauts de charge h^+ migrant par saut de lacunes V_{Ag} ou autrement dit par saut d'ions argent de positions cationiques idéales en positions cationiques idéales adjacentes à travers une lacune d'argent (cf. **Figure 6, document-réponse**).

III - 3 Les ions $Cu^{2+}_{(A)}$ sont associés à des lacunes d'argent situées dans une direction [110], c'est-à-dire selon une diagonale d'une face de la maille cubique élémentaire, tandis que les ions $Cu^{2+}_{(B)}$ sont associés à des lacunes d'argent dans une direction [010], c'est-à-dire selon une direction perpendiculaire à l'une des faces de la maille cubique élémentaire. Sur la **Figure 4*a*** est représentée la structure dans laquelle on trouve les ions $Cu^{2+}_{(A)}$ (**document-réponse**).

Compléter la **Figure 4*b*** se rapportant aux ions $Cu^{2+}_{(B)}$ (**document-réponse**).

III - 4 On étudie dans cette question l'allure du diagramme énergétique des orbitales *d* des ions Cu^{2+}.

III - 4*a)* Quel serait le diagramme énergétique des orbitales *d* du cuivre, en position de substitution dans le cristal, dans des sites parfaitement octaédriques ?

III - 4*b)* En raison de la présence des lacunes V_{Ag}, la symétrie des sites n'est pas parfaitement octaédrique. Il en résulte un éclatement énergétique des niveaux des orbitales *d* du cuivre (cf **Figure 5, document-réponse**).
Les orbitales les plus hautes occupées de $Cu^{2+}_{(A)}$ et de $Cu^{2+}_{(B)}$ sont respectivement de la forme :

$\Psi_0(A) = 0{,}95 d_{z^2} - 0{,}29 d_{x^2-y^2}$ assimilée par la suite à une orbitale d_{z^2} pure ;

$\Psi_0(B) = -0{,}02 d_{z^2} + 0{,}99 d_{x^2-y^2}$ assimilée par la suite à une orbitale $d_{x^2-y^2}$ pure.

Donner la structure électronique fondamentale des ions $Cu^{2+}_{(A)}$ et $Cu^{2+}_{(B)}$ en complétant la **Figure 5** (**document-réponse**).
Remarque : dans les deux cas, l'axe z pointe dans la direction de la lacune

III - 5 Une étude cinétique plus approfondie a permis de montrer que ce sont principalement les défauts de charge h^+ provenant des ions $Cu^{2+}_{(A)}$ [cf. Eq. (4)] qui sont responsables du blanchiment.

On cherche ici à montrer par une étude orbitalaire simplifiée que les défauts de charge h^+ provenant des ions $Cu^{2+}_{(A)}$ sont effectivement mobiles. Dans la suite, on ne considère que les interactions entre orbitales frontières et on suppose que les orbitales de valence des ions chlorure sont profondes en énergie (ce qui conduit à négliger leurs interactions avec celles des autres ions).

Les diagrammes orbitalaires avant et après le saut de la lacune ont été établis sur les **Figures *6a* et *6b*** (**document-réponse**), dans le cas des ions $Cu^{2+}_{(A)}$.

III - 5*a)* Indiquer l'occupation électronique des orbitales moléculaires avant et après le saut de la lacune V_{Ag} sur les **Figures *6a* et *6b*** (**document-réponse**).

Justifier brièvement le résultat en rappelant la configuration électronique des ions.

III - 5*b)* Sur quel ion (cuivre ou argent) se trouve localisé essentiellement le défaut de charge négative h^+ avant et après migration de la lacune ?
[On considérera que h^+ se situe sur l'orbitale atomique ou moléculaire remplie à 1 électron].

III - 5*c)* Donner l'équation-bilan correspondant au saut de la lacune. Comment expliquer la grande mobilité des défauts de charges générés par les ions $Cu^{2+}_{(A)}$?

Fin de l'énoncé

NE RIEN ÉCRIRE

Examen ou concours : Concours Communs Polytechniques Série* :

Spécialité/option* : FILIÈRES PC - TPC

Repère de l'épreuve : CHIMIE 2

Épreuve/sous-épreuve :
(Préciser, s'il y a lieu, le sujet choisi)

Si votre composition comporte plusieurs feuilles, numérotez-les et placez les intercalaires dans le bon sens.

Note : /20

Appréciation du correcteur :*

* Uniquement s'il s'agit d'un examen.

Document-réponse à rendre avec la copie

I-2

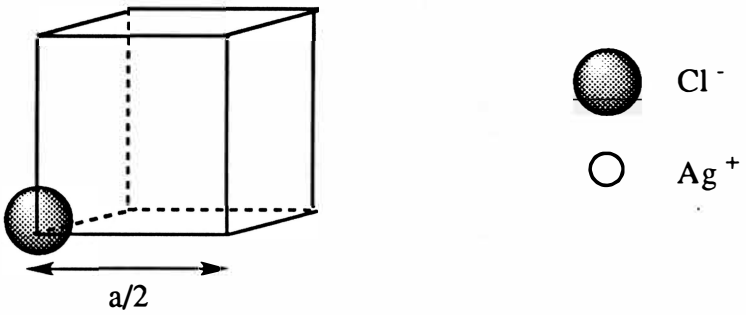


Figure 1 : maille élémentaire de AgCl
(à compléter)

II - 1*b*)

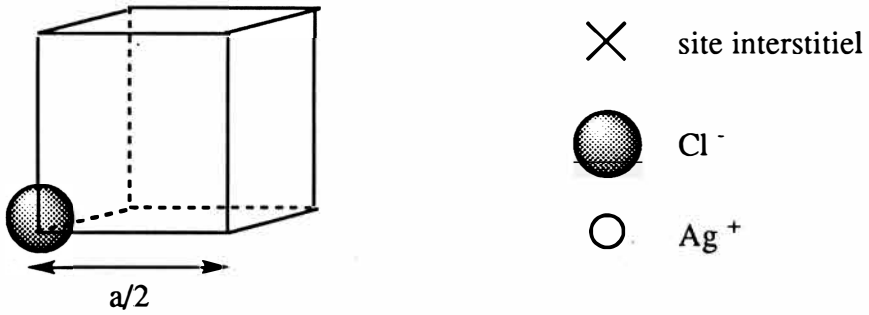


Figure 2 : position des sites interstitiels
(à compléter)

II - 4*a*) Dans un but de simplification, ***seuls seront représentés les ions chlorure*** (tous sont fixes) ainsi que l'ion Ag^+ qui migre.

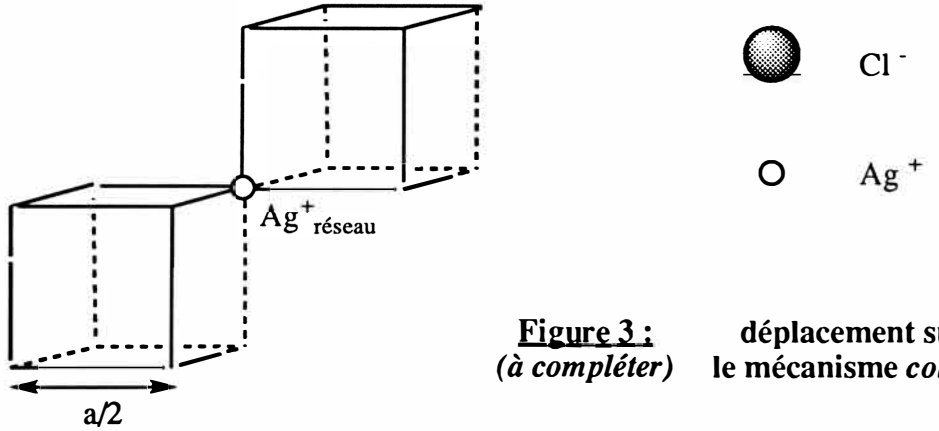


Figure 3 : déplacement suivant le mécanisme *colinéaire*
(à compléter)

Tournez la page S.V.P.

III - 3) Structures dans lesquelles se trouvent les ions $Cu^{2+}_{(A)}$ et $Cu^{2+}_{(B)}$

modèle non compact

Figure 4a : Cas de $Cu^{2+}_{(A)}$

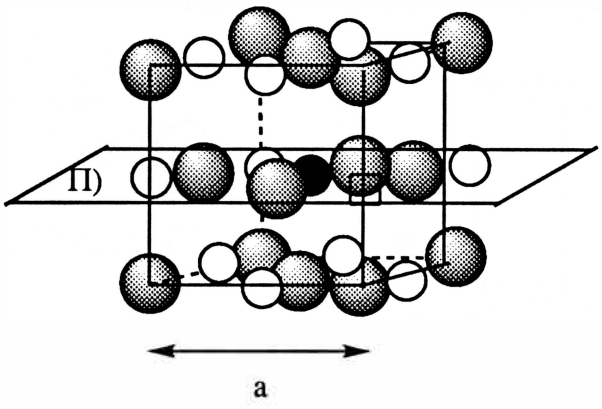
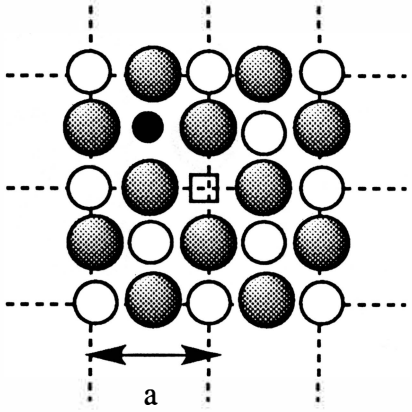


Figure 4*a*1

modèle compact



Répartition des ions et de la lacune V_{Ag} dans le plan Π

Figure 4*a*2

● Cu^{2+} □ V_{Ag} ● Cl^- ○ Ag^+

Remarque : les échelles sont différentes entre les deux figures pour plus de clarté

Figure 4*b* : cas de $Cu^{2+}_{(B)}$

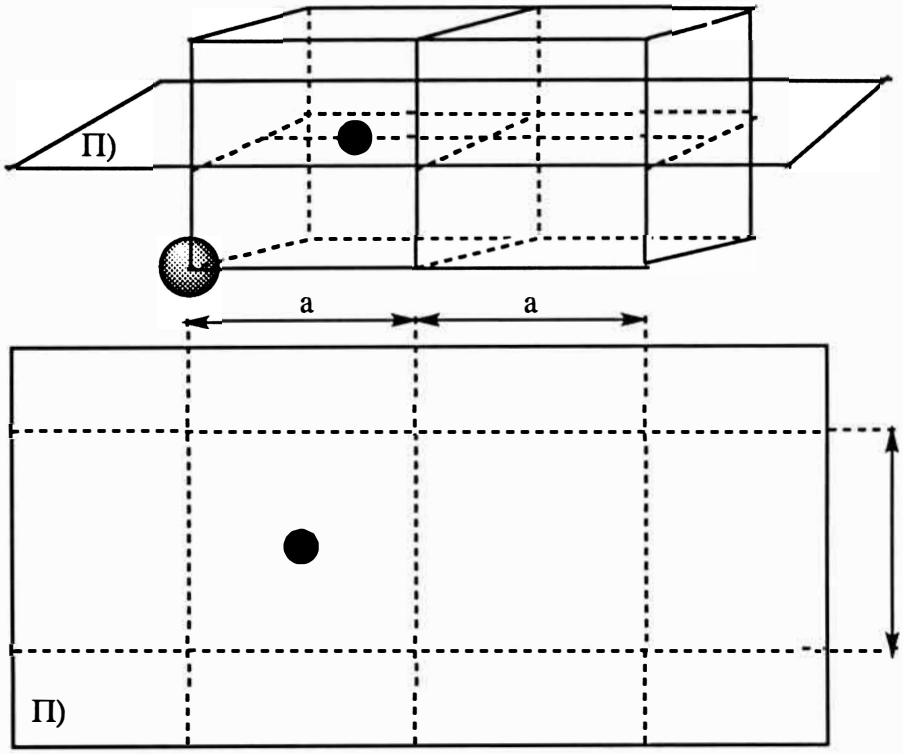


Figure 4*b*1

(à compléter)

Répartition des ions et des lacunes V_{Ag} dans le plan Π

Figure 4*b*2

(à compléter)

Figure 4 : Structures accueillant les ions $Cu^{2+}_{(A)}$ et $Cu^{2+}_{(B)}$

● Cu^{2+} □ V_{Ag} ● Cl^- ○ Ag^+

III-4*b*)

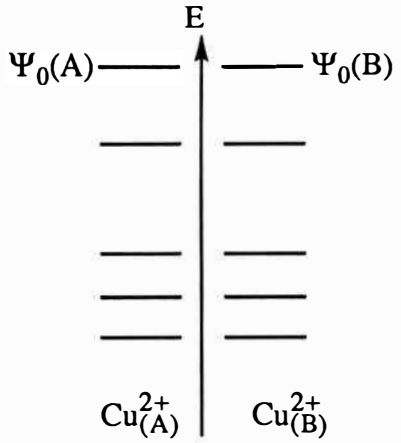


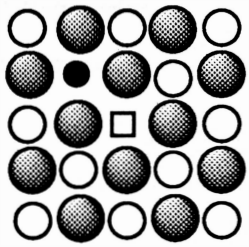
Figure 5 :
Diagramme énergétique des orbitales *d* des ions $Cu^{2+}_{(A)}$ et $Cu^{2+}_{(B)}$

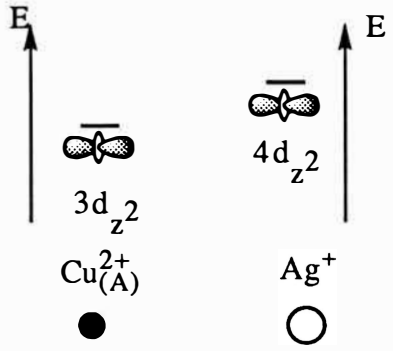
(à compléter)

Tournez la page S.V.P.

III-5*a*) :

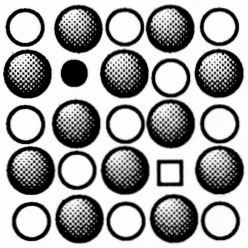
Figure 6*a* :
Avant le saut de V_{Ag}

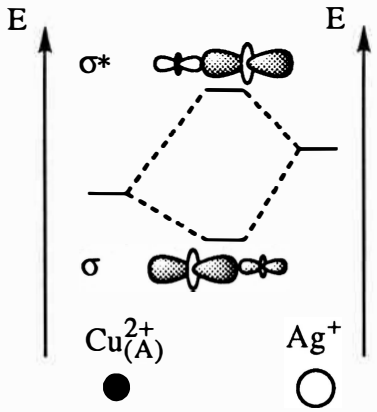




(à compléter)

Figure 6*b* :
Après le saut de V_{Ag}





$$\sigma^* = \alpha' \cdot 3d_{z^2} - \beta' \cdot 4d_{z^2}$$

$$0 < \alpha' << \beta'$$

$$\sigma = \alpha \cdot 3d_{z^2} + \beta \cdot 4d_{z^2}$$

$$0 < \beta << \alpha$$

(à compléter)

Travailler les chapitres de ce sujet

Prepa Help suit le programme de PC chapitre par chapitre : cours détaillé, méthodes, pièges, exercices et problèmes corrigés pas à pas, tirés des concours. L'essai gratuit donne accès aux chapitres offerts de ta filière, sans carte bancaire.

Chapitres liés à ce sujet

- Second principe : enthalpie libre, potentiel chimique et équilibre chimique
- Cinétique : évolution temporelle d'un système chimique
- Mécanismes réactionnels en cinétique homogène

Ouvrir l'essai gratuit

Scanne le code ou clique sur le bouton.

prepahelp.com/#essai

Une question sur le concours ou sur ta filière : **écrire sur WhatsApp**

Les autres années et épreuves : prepahelp.com/annales/ccinp/pc