

Exercice 1 : 2 pts (Radioactivité)

L'isotope radioactif du Cobalt ${}_{27}^{60}\text{Co}$ se désintègre en émettant un rayonnement β^- .

A l'instant initial, son activité est de $7,805 \cdot 10^6$ Ci. Au bout de deux années, elle est de $6 \cdot 10^6$ Ci.

1°) Ecrire la réaction de désintégration nucléaire, en précisant la constitution du noyau formé

2°) Déterminer la constante radioactive λ du Cobalt.

3°) Calculer la masse de Cobalt, non désintégrée, au bout de deux ans d'activité.

Données : 1 année = 365 jours

Masse du Cobalt ${}_{27}^{60}\text{Co} = 59,934$

Nombre d'Avogadro = $6,023 \cdot 10^{23}$

1 Ci (Curie) = $3,7 \cdot 10^{10}$ d.p.s

Exercice 2 : 5 pts (Théorie de Bohr et principe de Heisenberg)

Une radiation, de longueur d'onde $\lambda = 5,7 \cdot 10^{-9}$ m, provoque l'ionisation d'un ion hydrogénoïde initialement à l'état fondamental.

1°) Calculer l'énergie d'ionisation de cet ion (en Joules puis en électron-Volt)

2°) Déduire la valeur de son numéro atomique Z ainsi que la charge portée par cet ion.

3°) Calculer la valeur du rayon de l'orbite électronique de cet ion pris dans son premier état excité.

4°) Calculer la vitesse de l'électron sur cette même orbite.

5°) Calculer l'incertitude sur la valeur du rayon (position) sachant que l'incertitude relative sur la vitesse ($\Delta v/v$) est de 0.1% ; commenter le résultat.

Données :

Rayon de la première orbite de Bohr, $a_0 = 0,53 \text{ \AA}$

Vitesse de la lumière dans le vide, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

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

Energie électronique à l'état fondamental de H : $E_1^H = -13,6 \text{ eV}$.

Masse de l'électron, $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ Kg}$

Exercice 3 : 9 pts (Structure électronique, géométrie et moment dipolaire)

Considérons les éléments chimiques suivants : ${}_8\text{O}$; ${}_{15}\text{P}$; ${}_{16}\text{S}$; ${}_{17}\text{Cl}$ et ${}_{24}\text{Cr}$

1°) Donner pour chacun de ces éléments : la configuration électronique à l'état fondamental puis en déduire la période, le groupe et le sous groupe.

2°) En utilisant la théorie classique (Lewis et Gillespie dite VSEPR) et la théorie de l'hybridation, donner dans un tableau:

- a) la structure de Lewis des 5 espèces chimiques ci-dessous et dont l'atome central est souligné.
- b) la représentation de l'arrangement spatial des paires électroniques de la couche de valence (figure de répulsion) autour de l'atome central, la représentation de la géométrie des 5 espèces et l'état d'hybridation de l'atome central.

Espèces : $\underline{\text{O}}\text{Cl}_2$; $\underline{\text{C}}\text{OCl}_2$; $\underline{\text{N}}\text{Scl}$; $\underline{\text{C}}\text{OS}$ et $\underline{\text{Cl}}\text{O}_2^-$

3°) Le moment dipolaire de la liaison Cl-S dans la molécule SCl_2 vaut $1,24 \cdot 10^{-30} \text{ C.m}$. Sachant que la valeur de l'angle Cl - S - Cl est de 110° et que la longueur de la liaison Cl - S a pour valeur $1,35 \text{ \AA}$

- a) représenter les moments dipolaires des liaisons Cl - S ainsi que celui de la molécule
- b) calculer, en C.m et en Debye, la valeur du moment dipolaire de la molécule SCl_2
- c) déterminer le pourcentage du caractère ionique partiel de la liaison Cl - S.

Données : $1\text{D (Debye)} = 3,33 \cdot 10^{-30} \text{ C.m}$; ${}_7\text{N}$; ${}_6\text{C}$

Exercice 4 : 4 pts (Théorie des Orbitales Moléculaires)

Considérons le système chimique diatomique ClO

1°) Sachant que la différence d'énergie ΔE_{s-p} est grande, représenter le diagramme énergétique de ClO puis donner sa configuration électronique.

2°) Déterminer, à partir du diagramme énergétique :

- a) l'ordre de liaison.
- b) la nature de chaque liaison ainsi que le nombre de doublets non liants.
- c) la formule développée de ClO.
- d) la propriété magnétique de ClO

3°) Comparer, en justifiant, les énergies de dissociation et les distances interatomiques des espèces chimiques suivantes : ClO^- , ClO et ClO^+

Exercice 1 (2 points)

1) ${}_{27}^{60}\text{Co} \rightarrow {}_{-1}^0\text{e} + {}_{28}^{60}\text{X}$ (0.5 pt)

Le noyau de l'élément formé ${}_{28}^{60}\text{X}$ contient 28 protons et 32 neutrons (0.5 pt)

2) $N_t = N_0 \exp(-\lambda t) \rightarrow A_t = A_0 \exp(-\lambda t) \rightarrow \lambda t = \ln\left(\frac{A_0}{A_t}\right) \rightarrow \lambda = \frac{1}{t} \ln\left(\frac{A_0}{A_t}\right) = 4,17 \cdot 10^{-9} \text{ s}^{-1}$ (0.5 pt)

3) $\frac{A_t}{\lambda} = N_t = 5,3237 \cdot 10^{13} \text{ noyaux} \rightarrow m = \frac{M \cdot N_t}{N} = 5,2975 \cdot 10^{-9} \text{ g}$ (0.5 pt)

Exercice 2 (5 points)

1) Energie d'ionisation $E_i = \frac{hc}{\lambda} = 3,4842 \cdot 10^{-17} \text{ J}$ (0.5 pt) = 217,763 eV (0.5 pt)

2) $E_i = E_1 - E_\infty = -E_H \frac{Z^2}{n^2} = 13,6 Z^2 \text{ (eV)} = 217,763 \text{ eV} \rightarrow Z = 4$ (0.5 pt) et $n = 3 + 1$ (0.25 pt)

3) 1er état excité $\rightarrow n = 2$ (0.5 pt), on a : $r = a_0 \frac{n^2}{Z}$ (0.5 pt) = $0,53 \frac{2^2}{4} = 0,53 \text{ \AA}$ (0.25 pt)

4) Postulat de Bohr: $mvr = nh/2\pi$ (0.5 pt) $\rightarrow v = 4370 \text{ km/s}$ (0.5 pt)

5) $\Delta p \cdot \Delta x \geq \frac{h}{2\pi}$ (0.25 pt) $\rightarrow m \cdot \Delta v \cdot \Delta x \geq \frac{h}{2\pi} \rightarrow \Delta x \geq \frac{h}{2\pi m \Delta v} \rightarrow \Delta x \geq 265 \text{ \AA}$ (0.25 pt)

ou alors $\Delta p \cdot \Delta x \geq h \rightarrow \Delta x \geq 1664,6 \text{ \AA}$

Conclusion : La vitesse est connue avec une bonne précision alors que la position ne l'est pas; ce qui est en accord avec le principe d'incertitude de Heisenberg. (0.5 pt)

Exercice 3 (9 points)

1) (0.5 x 5) pts

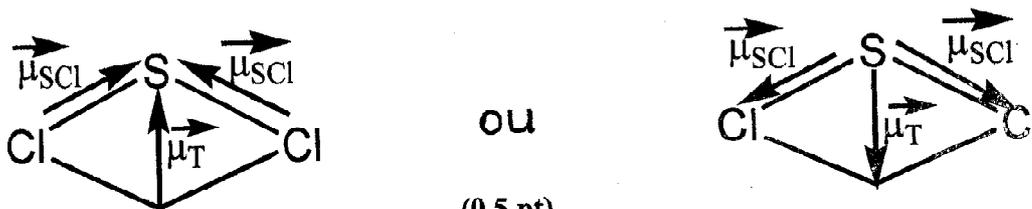
Elément	structure électronique	Période	Groupe et sous groupe
${}_8\text{O}$	$[\text{2He}]2s^2 2p^4$	2	VI _A
${}_{15}\text{P}$	$[\text{10Ne}]3s^2 3p^3$	3	V _A
${}_{16}\text{S}$	$[\text{10Ne}]3s^2 3p^4$	3	VI _A
${}_{17}\text{Cl}$	$[\text{10Ne}]3s^2 3p^5$	3	VII _A
${}_{24}\text{Cr}$	$[\text{18Ar}]4s^1 3d^5$	4	VI _B

Corrigé de l'examen final de chimie I-Lic.ST (vague 1) 2015-2016

2) a) et b)

Espèce Chimique	Lewis (0.25 x 5) pts	Arrangement spatial des paires de valence autour de l'atome central (0.25 x 5) pts	Hybridation de l'atome central (0.25 x 5) pts	Géométrie de la molécule (0.25 x 5) pts
OCl_2			sp^3	 Coudée ou en forme de V
OCCl_2			sp^2	 Trigonale
SNCl			sp^2	 Coudée ou en forme de V
OCS		 linéaire	sp	 droite ou haltère
$[\text{OCl}_2]^-$			sp^3	 Coudée ou en forme de V

$\text{O} \rightarrow \text{Cl} \rightarrow \text{Cl}$ AX_2E_2



3)

(0.5 pt)

$$\cos(55^\circ) = \frac{\mu_r}{2\mu_0} \rightarrow |\mu_T| = 2 |\mu_{SCl}| \cos(55^\circ) = 1,422 \cdot 10^{-30} \text{ C.m (0.5 pt)}$$

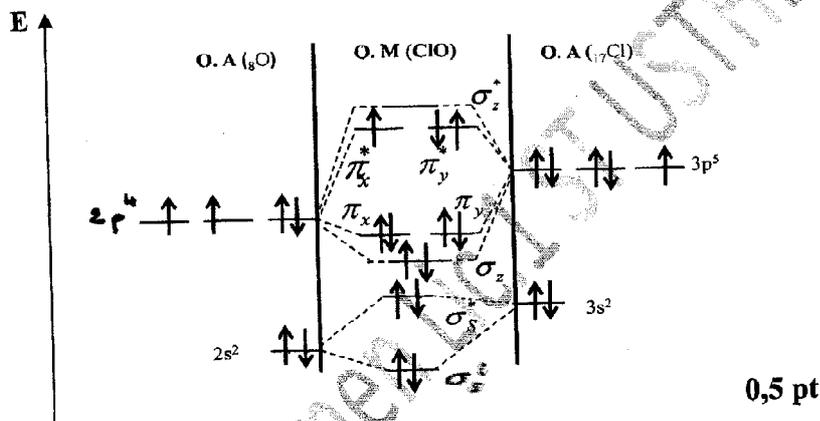
$$\text{Comme } \mu_{exp} = \delta \cdot d \rightarrow \delta = 0,09185 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$\text{et \% ionique} = \frac{|\mu_{exp}|}{|\mu_{theo}|} \times 100 \text{ avec } |\mu_{exp}| = \mu_{SCl} \text{ (0.25 pt)}$$

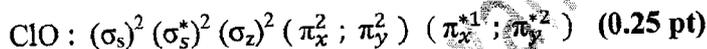
$$\text{alors \% ionique} = \frac{\delta \cdot d}{e \cdot d} \times 100 \rightarrow \% \text{ ionique} = 5,74 \% \text{ (0.25 pt)}$$

Exercice 4 (4 points)

1)



0,5 pt



2) a) $OL = \frac{\sum e^{\downarrow} - \sum e^{\uparrow}}{2} = \frac{8-5}{2} = 1,5 \text{ (0.5 pt)}$

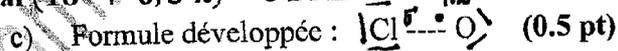
b) $OL_\sigma = \frac{\sum e_\sigma^{\downarrow} - \sum e_\sigma^{\uparrow}}{2} = \frac{4-2}{2} = 1 \text{ liaison de type } \sigma \text{ (0.25 pt)}$

$$OL(\pi_x) = \frac{\sum e_{\pi_x}^{\downarrow} - \sum e_{\pi_x}^{\uparrow}}{2} = \frac{2-1}{2} = 0,5 \text{ liaison de type } \pi_x \text{ (0.25 pt)}$$

$$OL(\pi_y) = \frac{\sum e_{\pi_y}^{\downarrow} - \sum e_{\pi_y}^{\uparrow}}{2} = \frac{2-2}{2} = 0 \text{ liaison de type } \pi_y \text{ (0.25 pt)}$$

$$\text{DNL} = \frac{\sum e_{\text{externes}} - \sum e_{\text{de liaison}}}{2} = \frac{13-3}{2} = 5 \text{ nombre de DNL} = 5 \text{ (0.25 pt)}$$

Au total (1 σ + 0,5 π) + 5 DNL



d) Présence d'un électron célibataire: le système chimique est paramagnétique (0.5 pt)

3) Plus l'ordre de liaison est important plus la liaison est forte et courte (0.25 pt)

composé	ordre de liaison
ClO ⁺	1
ClO	1,5
ClO ⁻	2

$$E_{\text{dissociation}} \text{ClO}^+ > E_{\text{dissociation}} \text{ClO} > E_{\text{dissociation}} \text{ClO}^- \text{ (0.25 pt)}$$

$$\text{Distance interatomique} : d(\text{ClO}^+) < d(\text{ClO}) < d(\text{ClO}^-) \text{ (0.25 pt)}$$

Exercice N°1: 1.5pts (Radioactivité)

Une source radioactive, contenant du Césium 137 ($^{137}_{55}\text{Cs}$), présente initialement une activité de $3,24 \cdot 10^{12}$ Bq. Sachant que le Césium 137 émet, lors de sa désintégration, un rayonnement β^- et que sa période radioactive est de 30,2 années :

1°/ Ecrire la réaction correspondant à sa désintégration.

2°/ Calculer la masse de l'isotope $^{137}_{55}\text{Cs}$ contenue dans la source à l'instant initial.

3°/ Déterminer le nombre de noyaux formés, après désintégration du Césium, au bout de 3 périodes.

Données : Masse de $^{137}_{55}\text{Cs} = 136,9$; $N = 6,023 \cdot 10^{23}$; $1\text{Bq (Becquerel)} = 1\text{dps}$
 $1 \text{ année} = 365 \text{ jours}$

Exercice N°2 : 4.5 pts (Théorie de Bohr)

La transition électronique à partir de l'état fondamental vers le troisième état excité d'un ion hydrogénoïde ${}_Z\text{X}^{n+}$ a mis en jeu une énergie égale à $5,1 \cdot 10^{-17}$ Joules.

1°/ Déterminer le numéro atomique Z puis en déduire la notation symbolique (${}_Z\text{X}^{n+}$) de cet ion hydrogénoïde.

2°/ Calculer le rayon de l'orbite, correspondant au 3^{ème} état excité, ainsi que la vitesse de l'électron gravitant sur cette orbite.

3°/ Quelle serait, selon l'hypothèse de De Broglie, l'onde associée à cet électron ?

4°/ Calculer la fréquence du rayonnement qui provoquerait l'ionisation de cet ion hydrogénoïde pris dans son troisième état excité.

Données : $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$; $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ Kg}$; $a_0 = r_1^{\text{H}} = 0,53 \text{ \AA}$; $E_1^{\text{H}} = -13,6 \text{ eV}$
 $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Exercice N°3 : 4.75 pts (Structure électronique et propriétés)

Soient les éléments chimiques suivants: ${}_{8}O$ ${}_{9}F$ ${}_{16}S$ ${}_{30}Zn$ ${}_{34}Se$

1°/ Ecrire dans un tableau : la structure électronique à l'état fondamental de ces atomes, en y précisant leur position dans le tableau périodique (période, groupe et sous groupe).

2°/ Y a-t-il parmi eux des éléments de transition et des halogènes ? Justifier

4°/ Attribuer, en justifiant, à chacun de ces éléments sa valeur d'électronégativité prise parmi les valeurs ci-dessous :

Electronégativités : 2,58 3,98 1,65 2,55 3,44

5°/ Quel ion formera préférentiellement chacun des éléments chimiques suivants :

${}_{9}F$ ${}_{30}Zn$ et ${}_{34}Se$. Justifier.

Exercice N°4 : 9.25 pts (liaison chimique)

Soient les molécules et ion dont les formules brutes sont les suivantes :



1°/ En utilisant la théorie classique (Lewis et Gillespie dite VSEPR) et la théorie de l'hybridation, **donner dans un tableau**:

- a) la structure de Lewis des 5 espèces ci-dessus et dont l'atome central est souligné.
- b) la représentation de l'arrangement spatial des paires électroniques de la couche de valence (figure de répulsion) autour de l'atome central, la représentation de la géométrie des 5 espèces et l'état d'hybridation de l'atome central (SeF_4 n'est pas concernée).

2°/ En utilisant la théorie des orbitales moléculaires (OM) :

- a) Représenter le diagramme énergétique des OM de la molécule SO , sachant que ΔE_{ns-np} est importante puis écrire sa configuration électronique.
- b) Préciser le nombre et la nature des liaisons. En déduire la formule développée de SO , en y figurant clairement les doublets non liants, puis la comparer à celle déduite de la théorie de Lewis et conclure.
- c) Ecrire la structure électronique des ions moléculaires SO^{2-} et SO^{2+}
- d) Comparer la stabilité des espèces suivantes : SO , SO^{2-} et SO^{2+}

Corrigé de l'examen final de chimie I-Lic.ST (vague 2) 2015-2016

Exercice N°1 (1,5pts)



2°/ $A_0 = \lambda N_0 \Leftrightarrow A_0 = \lambda \frac{m_0 N}{M} \Leftrightarrow m_0 = \frac{A_0 \times T \times M}{N \ln 2} \Leftrightarrow m_0 = 1,016\text{g}$ **0,5**

3°/ $t = 3T \quad N_X = N_0 - N(t) \Leftrightarrow N_X = N_0 - N_0 \exp(-\lambda t) \Leftrightarrow N_X = \frac{m_0}{M} N [1 - \exp(-3 \ln 2)]$ **0,5**

Nombre de noyaux de $^{137}_{56}\text{X}$ formés au bout de 3T : $N_X = 38,46 \cdot 10^{20}$ **0,25**

Ou bien : $N_X = N_0 - \frac{N_0}{2^3} \Leftrightarrow N_X = 38,46 \cdot 10^{20}$ (avec $N_0 = 43,96 \cdot 10^{20}$)

Exercice N°2 (4,5 pts)

1°/ Transition électronique : $n_i = 1 \longrightarrow n_f = 4$ (3^{ème} état excité) **0,25**

$\Delta E_{1-4} = E_1^H Z^2 \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \Leftrightarrow Z^2 = \frac{\Delta E_{1-4}}{E_1^H \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)}$ **0,5** $Z = 5 \Leftrightarrow n^+ = Z - 1 \Leftrightarrow n^+ = +4$ **2x0,25**

D'où : Notation symbolique de l'hydrogénoïde : ${}_5\text{X}^{4+} = {}_5\text{B}^{4+}$ **0,25**

2°/ * $r_4^X = r_1^H \frac{n^2}{Z} = a_0 \frac{n^2}{Z}$ **0,5** \Leftrightarrow Rayon de la 4^{ème} orbite de l'ion (${}_5\text{X}^{4+}$) : $r_4^X = 1,69 \text{ \AA}$ **0,25**

*Quantification du moment cinétique : $m_e v_4 r_4 = n \frac{h}{2\pi} \Leftrightarrow v_4 = \frac{n h}{2\pi m_e r_4}$ **0,5** $\Leftrightarrow v_4 = 2,7 \cdot 10^6 \text{ m/s}$ **0,25**

3°/ Onde Broglie : $\lambda = \frac{h}{mv}$ **0,5** $\Leftrightarrow \lambda = 2,6 \cdot 10^{-10} \Leftrightarrow \lambda = 2,6 \text{ \AA}$ **0,25**

4°/ Energie d'ionisation à partir de $n_i = 4$ (3^{ème} état excité) : $E_i = \Delta E_{4-\infty} = E_\infty - E_4 \Leftrightarrow$

$E_i = E_1^H Z^2 \left(\frac{1}{\infty} - \frac{1}{4^2} \right) = h\nu \Leftrightarrow \nu = \frac{Z^2 E_1^H \left(\frac{1}{\infty} - \frac{1}{16} \right)}{h}$ **0,5** $\Leftrightarrow \nu = 5,13 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$ **0,25**

Exercice N°3 (4,75 pts)

1°/ et 2°/

5 x 0,5pts

Éléments chimiques	Structure électronique	Période	Groupe	Sous-groupe
${}_8\text{O}$	$[_2\text{He}] 2s^2 2p^4$	2	VI	A
${}_9\text{F}$	$[_2\text{He}] 2s^2 2p^5$	2	VII	A
${}_{16}\text{S}$	$[_{10}\text{Ne}] 3s^2 3p^4$	3	VI	A
${}_{30}\text{Zn}$	$[_{18}\text{Ar}] 4s^2 3d^{10}$	4	II	B
${}_{34}\text{Se}$	$[_{18}\text{Ar}] 4s^2 3d^{10} 4p^4$	4	VI	A

3°/ *Pas d'éléments présentant une sous-couche « d » insaturée \Leftrightarrow Pas d'éléments de transition **0,25**

* ${}_9\text{F}$ est un halogène car il appartient au groupe VII_A **0,25**

Corrigé de l'examen final de chimie I-Lic.ST (vague 2) 2015-2016

4^o/ 1^{er} classement selon $n \uparrow$ (multiplicité de couches) : $n \uparrow \Rightarrow r \uparrow \Rightarrow \chi \searrow$ 0,25

$r(8O,9F) < r(16S) < r(30Zn,34Se) \Rightarrow \chi(30Zn,34Se) < \chi(16S) < \chi(8O,9F)$

2^{ème} classement : $n = \text{cste}$; $Z_{\text{eff}} \uparrow \Rightarrow F_{\text{attr}} \uparrow \Rightarrow r \searrow \Rightarrow \chi \nearrow$ 0,25

D'où : $\chi(30Zn) < \chi(34Se) < \chi(16S) < \chi(8O) < \chi(9F)$ 0,25
 $\downarrow \qquad \downarrow \qquad \downarrow \qquad \downarrow \qquad \downarrow$
 1,65 2,55 2,58 3,44 3,98

5^o/ $9F \rightarrow 9F^- \equiv [10Ne]$ (ion stable car structure stable d'un gaz rare) 0,25

$30Zn \rightarrow 30Zn^{2+} \equiv [18Ar] 3d^{10}$ (ion stable car structure externe en d^{10}) 0,25

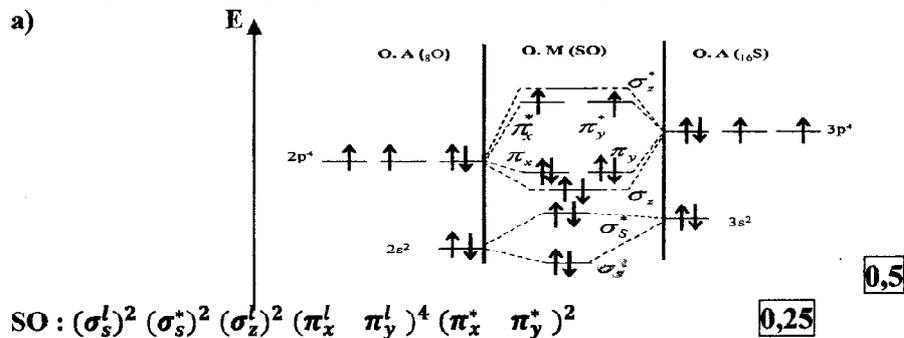
$34Se \rightarrow 34Se^{2-} \equiv [36Kr]$ (ion stable car structure stable d'un gaz rare) 0,25

Exercice N°4 (9,25 pts)

Espèce chimique	Configuration de Lewis	AX_mE_n	$m + n$	Figure de répulsion	Géométrie	Etat d'hybridation de Se
H_2SeO_4	<p>0,25</p> <p>ou</p> <p>ou</p>	AX_4	4	<p>Tétraédrique</p> <p>0,25</p>	<p>Tétraédrique</p> <p>0,25</p>	sp^3
SeO_3^{2-}	<p>0,25</p> <p>Ou</p>	AX_3E	4	<p>Tétraédrique</p> <p>0,25</p>	<p>Pyramidale</p> <p>0,25</p>	sp^3

<u>SeS₂</u>	$\langle \text{S} = \text{Se} = \text{S} \rangle$ Ou $\langle \text{S} - \text{Se} = \text{S} \rangle$ 0,25	AX_2E	3	Trigonale 0,25 	Angulaire ou coudée 0,25	sp^2 0,25
<u>SeO₃</u>	0,25 Ou Ou 	AX_3	3	Trigonale 0,25	Trigonale 0,25	sp^2 0,25
<u>SeF₄</u>	0,25 	AX_4E	5	Bipyramide à base triangulaire 0,5	En forme de Bascule Ou tétraèdre déformé 0,25	sp^3d non comptabilisé

2°/ Diagramme énergétique des OM de SO : ΔE_{s-p} importante \Leftrightarrow pas d'interaction $\sigma_s^* - \sigma_z^l$



b) *Nombre de liaisons : $OL = \frac{\sum e^l - \sum e^*}{2} = \frac{8-4}{2} = 2$ liaisons 0,25

*Nature des liaisons :

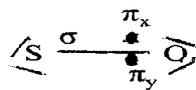
$OL_{\sigma} = \frac{\sum e^l_{\sigma} - \sum e^*_{\sigma}}{2} = \frac{4-2}{2} = 1$ liaison de type σ 0,25

$OL(\pi_x) = \frac{\sum e^l_{\pi_x} - \sum e^*_{\pi_x}}{2} = \frac{4-1}{2} = 0,5$ liaison de type π_x 0,25

$OL(\pi_y) = \frac{\sum e^l_{\pi_y} - \sum e^*_{\pi_y}}{2} = \frac{4-1}{2} = 0,5$ liaison de type π_y 0,25

$DNL = \frac{\sum e_{\text{externes}} - \sum \text{de liaison}}{2} = \frac{12-4}{2} = 4$ doublets non liants (DNL) qu'on peut également retrouver sur le diagramme des OM 0,25

*Formule développée :



0,25

*Schéma de Lewis :



0,25

Le schéma de Lewis ne prévoit pas le paramagnétisme de la molécule SO

0,5

c) Structures électroniques :

$SO^{2-} : (\sigma_s^l)^2 (\sigma_s^*)^2 (\sigma_z^l)^2 (\pi_x^l \pi_y^l)^4 (\pi_x^* \pi_y^*)^4$ 0,25

$SO^{2+} : (\sigma_s^l)^2 (\sigma_s^*)^2 (\sigma_z^l)^2 (\pi_x^l \pi_y^l)^4$ 0,25

d) $OL_{(SO_2^+)} = \frac{\sum e^l - \sum e^*}{2} = \frac{8-2}{2} = 3$ liaisons 0,25

$OL_{(SO_2^-)} = \frac{\sum e^l - \sum e^*}{2} = \frac{8-6}{2} = 1$ liaison

Lorsque l'ordre de liaison augmente (nombre de liaisons augmente) \Leftrightarrow la distance internucléaire diminue \Leftrightarrow l'énergie de dissociation augmente \Leftrightarrow la stabilité de la molécule augmente. 0,25

D'où : Stabilité de $SO^{2+} > SO > SO^{2-}$ 0,25