

Quelques aspects de la chimie de l'euporium

Partie 1 – Les lanthanides et leur place dans le tableau périodique

1. La configuration de cœur est donnée par le gaz rare précédant les lanthanides : il s'agit du xénon, $Z = 54$.

Xe : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 5s^2 5p^6$ (peu importe l'ordre).

2. Selon la méthode de Klechkowski, le remplissage s'effectue à $n+l$ croissant puis à n croissant pour $n+l$ constant. Par conséquent, la sous-couche 4f ($n = 4, l = 3$) doit être intégralement remplie avant que la sous-couche 5d ($n = 5, l = 2$) ne comporte des électrons. Soit :

La : [Xe] $6s^2 4f^1$, puis remplissage de 4f jusqu'à Yb : [Xe] $6s^2 4f^{14}$, puis remplissage de 5d à partir de Lu : [Xe] $6s^2 4f^{14} 5d^1$.

Les configurations électroniques irrégulières sont donc, dans le cadre de l'application de cette méthode : La, Ce, Gd (occupation partielle de 5d alors que 4f n'est pas complète).

3. Oxydant : entité susceptible de capter un ou des électrons ; réducteur : entité susceptible de céder un ou des électrons.

4. L'oxydant Ce^{4+} se forme plus facilement, il a donc un domaine de prédominance plus grand que Ln^{4+} , le potentiel standard du couple est donc plus bas :

$$E^\circ (Ce^{4+} (aq) / Ce^{3+} (aq)) < E^\circ (Ln^{4+} (aq) / Ln^{3+} (aq)).$$

Par le même raisonnement pour un réducteur :

$$E^\circ (Eu^{3+} (aq) / Eu^{2+} (aq)) > E^\circ (Ln^{3+} (aq) / Ln^{2+} (aq)).$$

5. Non, il n'y a aucun moyen de prévoir cette « stabilité » : sauf pour les trois éléments dont la configuration est en $6s^2 5d^1$, l'arrachage de trois électrons ne correspond à rien de spécial.

6. Possibilité de l'état +IV par arrachage des quatre électrons de valence, mais impossibilité de l'état +V qui nécessiterait l'arrachage d'électrons de cœur, beaucoup plus coûteux énergétiquement.

7. Cette comparaison de stabilité n'a pas de sens : nombre d'électrons différent dans les deux entités.

Aucun principe quantique sur cette « stabilité intrinsèque » des atomes à sous-couche à moitié remplie.

Interprétation de l'étudiant : alors que N a une sous-couche 2p à moitié pleine, son enthalpie de formation est plus élevée que celle de O, qui n'a pas cette caractéristique, ce qui suggère que N est moins stable que O, d'où la contradiction. En fait, les références ne sont pas les mêmes : $N_2 (g)$ pour N et $O_2 (g)$ pour O. Ces deux valeurs montrent juste que la liaison est plus forte dans N_2 que dans O_2 .

8. La sous-couche f peut être occupée par 14 électrons, le bloc f doit donc comporter 14 éléments, et pas 15.

9. Ces deux propositions constituent un bloc f à 14 éléments, de 58 (Ce) à 71 (Lu) pour A et de 57 (La) à 70 (Yb) pour B.

Arguments entre A et B, à partir des configurations électroniques seulement

	Avantages	Inconvénients
A	« Respect » de la configuration en d^1 pour La et Ac, ce qui signifie que ces deux éléments appartiennent au bloc d = la sous-couche d commence juste à se remplir avant f. Ensuite, la sous-couche f se remplit pour les 14 éléments suivants (de Ce à Lu) et le bloc d continue de se remplir après (à partir de d^2 pour Hf).	Bloc d coupé en deux. Rupture de la construction du tableau par la méthode de Klechkowski. Ce remplissage de d^1 en premier peut être une irrégularité.
B	Application de la méthode de Klechkowski en faisant courir le bloc f de La à Yb indépendamment des irrégularités de configuration électronique.	D'après leur configuration électronique, La et Ac seraient des éléments du bloc d.

Arguments entre A et B, en observant les propriétés du tableau 2

On constate que, dans une colonne du bloc d (celles de Ti, V et Cr) : T_{fus} augmente régulièrement, $E_{i1} + E_{i2} + E_{i3}$ diminue puis augmente, pareil pour χ_{AR} .

	Avantages	Inconvénients
A		La première colonne du bloc d est Sc-Y-La, qui ne respecte aucun de ces ordres de propriétés expérimentales.
B	La première colonne du bloc d est Sc-Y-Lu, qui respecte bien ces ordres (à part pour T_{fus} de Sc et Y, mais ces deux-là sont forcément l'un sous l'autre).	

Conclusion

L'argument de la configuration d^1 de La, qui incite à le placer dans le bloc d (proposition A), n'est pas si fort : dans le groupe des actinides, Th ne comporte aucun électron dans une sous-couche f, et pourtant il est toujours classé dans le bloc f.

Il est beaucoup plus simple de considérer que les configurations de La et Ac sont des irrégularités comme il y en a d'autres dans cette zone, de les interpréter comme les premiers éléments du bloc f, et de placer Lu comme le premier élément du bloc d, qui correspond bien mieux aux propriétés expérimentales, c'est la proposition B.

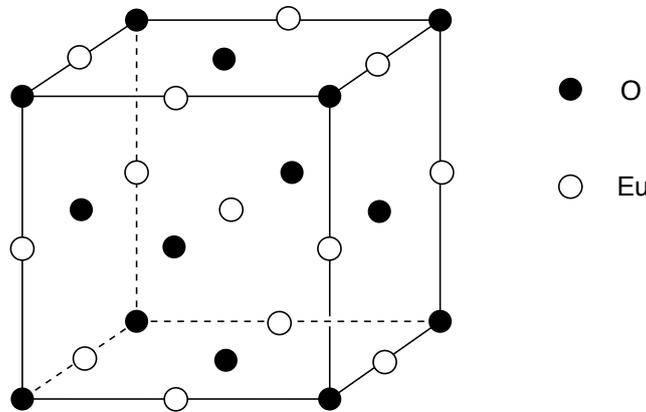
Entre l'argument favorable à A qui est assez faible et l'argument expérimental favorable à B, la proposition B semble nettement plus satisfaisante.

Quelle signification attribue-t-on au tableau périodique : respect des configurations électroniques (A), application de la méthode de Klechkowski (B), respect des propriétés expérimentales (B) ? Selon la réponse à cette question, la proposition la plus satisfaisante n'est pas la même.

Partie 2 – Propriétés oxydo-réductrices du couple Eu(III) / Eu (II)

2.A. Oxydes d'euprium

10. Maille conventionnelle EuO :



11. La masse volumique du cristal est égale à la masse volumique de la maille. Or une maille conventionnelle contient 4 unités EuO, donc $\rho = \frac{4 \times M_{\text{EuO}}}{N \cdot a^3}$, soit $a = \sqrt[3]{\frac{4 \times M_{\text{EuO}}}{\rho \cdot N}} = 514 \text{ pm}$.

12. Cristal métallique : cations métalliques dans un gaz d'électrons délocalisés.

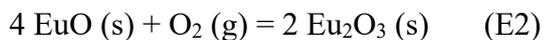
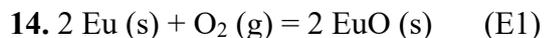
Covalent : liaisons covalentes entre les atomes.

Ionique : interactions électrostatiques entre ions de charges opposées.

13. Dans tous les cas, $a = 2 \cdot (r_{\text{Eu}} + r_{\text{O}})$.

Modèle métallique : $a = 574 \text{ pm}$; modèle covalent : $a = 516 \text{ pm}$; modèle ionique : $a = 514 \text{ pm}$.

Donc le modèle métallique est très éloigné (ce n'est pas une surprise avec O !), les deux autres prévoient le « bon » paramètre de maille. Avec la grande différence d'électronégativité entre Eu et O, c'est sans doute le modèle ionique qui est le plus adapté.



15. À température donnée, l'écriture de la réaction de Guldberg et Waage montre qu'il existe une pression d'équilibre $p^{\text{éq}_1}$ en dioxygène pour (E1), une autre $p^{\text{éq}_2}$ pour (E2). EuO est stable vis-à-vis de (E1) si $\Delta_r G_1 \leq 0$ soit $Q_{r1} \leq K_1^\circ$, c'est-à-dire $p(\text{O}_2) \geq p^{\text{éq}_1}$ car $Q_{r1} = p^\circ / p(\text{O}_2)$ et $K_1^\circ = p^\circ / p^{\text{éq}_1}$. Il est stable vis-à-vis de (E2) si $\Delta_r G_2 \geq 0$ c'est-à-dire si $p(\text{O}_2) \leq p^{\text{éq}_2}$, d'où la gamme de pressions entre $p^{\text{éq}_1}$ et $p^{\text{éq}_2}$.

Les deux pressions d'équilibre à 850 K sont déterminées à la question 16, elles peuvent être calculées dès cette question pour montrer que $p^{\text{éq}_1} < p^{\text{éq}_2}$. Si l'inégalité avait été dans l'autre sens ($p^{\text{éq}_1} > p^{\text{éq}_2}$), cela aurait montré l'instabilité de EuO, qui se dismuterait en Eu et Eu_2O_3 .

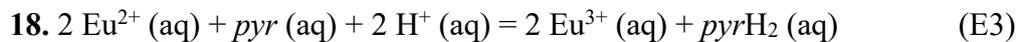
16. On calcule K° (850 K) puis $p^{\text{éq}} = p^\circ/K^\circ$ pour les deux équilibres.

	$\Delta_r H^\circ /$ $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$	$\Delta_r S^\circ / \text{J}\cdot\text{K}^{-1}$ $\cdot\text{mol}^{-1}$	$\Delta_r G^\circ$ (850 K) / $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$	K° (850 K)	$p^{\text{éq}}$ (850 K) / bar
(E1)	-1206	-205	-1 032	$2,5 \times 10^{63}$	4×10^{-64}
(E2)	-890	-225	-699	$8,7 \times 10^{42}$	1×10^{-43}

Pressions extrêmes : $p^{\text{éq}}_1 = 4 \times 10^{-64}$ bar, $p^{\text{éq}}_2 = 1 \times 10^{-43}$ bar.

17. Il faudrait vraiment se placer à très (trop !) basse pression, sinon EuO s'oxyde en Eu_2O_3 . Il semble vraiment compliqué d'accéder à ce domaine de pression.

2.B. Cinétique de la réduction de l'acide pyruvique par l'ion Eu^{2+}



19. $\log K_3^\circ = (E^\circ (\text{pyr} (\text{aq}) / \text{pyrH}_2 (\text{aq})) - E^\circ (\text{Eu}^{3+} (\text{aq}) / \text{Eu}^{2+} (\text{aq}))) / (\ln(10) \cdot RT/2F) = 21,3$
(ou 21,0 en prenant $\alpha = 0,06$ V) d'où $K_4^\circ = 2 \times 10^{21}$ (ou 1×10^{21}).

20. Il s'agirait d'un acte élémentaire d'ordre 5 (ou d'ordre 3 si on ne tient pas compte de H^+ ...), correspondant à la réaction entre cinq entités simultanément, ce qui est très peu probable.

21. $v_{\text{cons}}(\text{Eu}^{2+}) = -d[\text{Eu}^{2+}]/dt$; $v_{\text{form}}(\text{pyrH}_2) = +d[\text{pyrH}_2]/dt$.

22. $v_{\text{cons}}(\text{Eu}^{2+}) = 2 \cdot v_{\text{form}}(\text{pyrH}_2)$ à cause de la stœchiométrie de (E3).

23. Le suivi spectrophotométrique fournit uniquement $[\text{Eu}^{2+}] = A/\epsilon l$: c'est donc $v_{\text{cons}}(\text{Eu}^{2+})$ qui est accessible à la mesure.

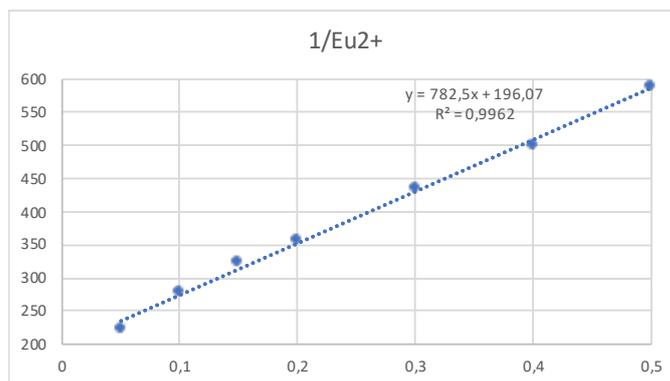
24. pyr et H^+ sont en grand excès, il y a dégénérescence de l'ordre par rapport à ces deux réactifs, seule la concentration $[\text{Eu}^{2+}]$ a une variation relative significative au cours de la transformation, donc c'est le seul paramètre d'influence sur v .

25. Par intégration de $v = v_{\text{cons}}(\text{Eu}^{2+}) = -d[\text{Eu}^{2+}]/dt = k_{\text{app}} \cdot [\text{Eu}^{2+}]^2$, on obtient :

$$1/[\text{Eu}^{2+}] = 1/[\text{Eu}^{2+}]_0 + k_{\text{app}} \cdot t$$

Première méthode possible :

La régression linéaire de $1/[\text{Eu}^{2+}]$ en fonction de t donne :



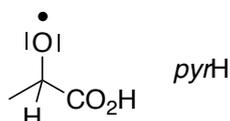
Les points sont bien alignés, le modèle est validé (ou du moins n'est pas invalidé) et $k_{app} = 7,8 \times 10^2 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$.

Deuxième méthode :

On calcule $k_{app} = (1/t) \cdot (1/[\text{Eu}^{2+}] - 1/[\text{Eu}^{2+}]_0)$ pour les différentes valeurs de t du tableau, on obtient successivement $k_{app} = 1000, 1050, 1000, 920, 870, 820, 830 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$: ces valeurs sont à peu près constantes, on peut prendre une valeur « moyenne » à $k_{app} = 9 \times 10^2 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$.

26. On ne peut pas nécessairement définir une vitesse de réaction pour (E3) car des intermédiaires sont susceptibles de s'accumuler. Si pyrH ou pyrH^- s'accumule, on n'a pas : $v_{\text{cons}}(\text{Eu}^{2+}) = 2 \cdot v_{\text{form}}(\text{pyrH}_2)$, donc la vitesse de réaction n'est pas définie *a priori*.

27. Schéma de Lewis de pyrH :



C'est un radical, probablement très réactif, donc consommé dès qu'il est formé, d'où une concentration stationnaire.

28. L'étape 3 a pour réactif pyrH^- (alcoolate), lui-même formé à partir de pyrH . L'étape 3 ne peut donc pas être plus rapide que la formation de pyrH dans l'étape 1, cinétiquement déterminante. Elle n'est donc pas « rapide », mais, éventuellement, « facile », ou elle se produit à la même vitesse que l'étape qui la précède.

29. Vitesse de consommation de Eu^{2+} :

$$v = -d[\text{Eu}^{2+}]/dt = k_1 \cdot [\text{Eu}^{2+}] \cdot [\text{pyr}] \cdot [\text{H}^+] - k_{-1} \cdot [\text{Eu}^{3+}] \cdot [\text{pyrH}] + k_2 \cdot [\text{Eu}^{2+}] \cdot [\text{pyrH}]$$

Application de l'approximation de l'état stationnaire à pyrH :

$$d[\text{pyrH}]/dt = 0 = k_1 \cdot [\text{Eu}^{2+}] \cdot [\text{pyr}] \cdot [\text{H}^+] - k_{-1} \cdot [\text{Eu}^{3+}] \cdot [\text{pyrH}] - k_2 \cdot [\text{Eu}^{2+}] \cdot [\text{pyrH}]$$

D'où $v = 2 \cdot k_2 \cdot [\text{Eu}^{2+}] \cdot [\text{pyrH}]$ puis la relation (R1) demandée :

$$v = 2 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \frac{[\text{Eu}^{2+}]^2 \cdot [\text{pyr}] \cdot [\text{H}^+]}{k_{-1} \cdot [\text{Eu}^{3+}] + k_2 \cdot [\text{Eu}^{2+}]}$$

30. Si, au départ, $[Eu^{3+}]_0 = 0$, alors aux premiers instants de la transformation :

$v = 2 \cdot k_1 \cdot [Eu^{2+}] \cdot [pyr] \cdot [H^+]$, donc ordre 1 par rapport à Eu^{2+} .

Et quand $[Eu^{3+}]$ devient assez élevée ($k_{-1} \cdot [Eu^{3+}] \gg k_2 \cdot [Eu^{2+}]$), l'ordre devient 2 par rapport à Eu^{2+} :

$$v = 2 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \frac{[Eu^{2+}]^2 \cdot [pyr] \cdot [H^+]}{k_{-1} \cdot [Eu^{3+}]}$$

Si Eu^{3+} est présent à concentration élevée dès le départ, on est directement dans ce régime au début de la transformation.

Quand $[Eu^{3+}]$ devient assez élevée, l'étape « -1 » inhibe la formation de $pyrH$.

31. Par rapport à la question **25**, on reconnaît :

$$k_{app} = 2 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \frac{[pyr] \cdot [H^+]}{k_{-1} \cdot [Eu^{3+}]}$$

D'où :

$$\frac{k_1 \cdot k_2}{k_{-1}} = \frac{k_{app} \cdot [Eu^{3+}]}{2 \cdot [pyr] \cdot [H^+]} = 8,7 \times 10^2 \text{ L}^2 \cdot \text{mol}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$$

(en prenant $k_{app} = 7,8 \times 10^2 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

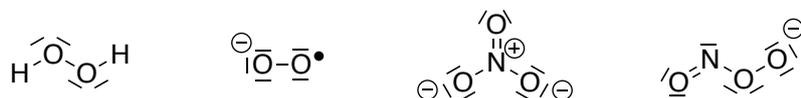
32. On simplifie la loi de vitesse, cette fois dans le cas où $[pyr]$ et $[Eu^{3+}]$ sont faibles par rapport à $[Eu^{2+}]$, ce qui donne bien un ordre 1 en pyr : $v = 2 \cdot k_1 \cdot [Eu^{2+}] \cdot [H^+] \cdot [pyr]$. L'étape cinétiquement déterminante est alors bien l'étape 1.

33. Alors $k'_{app} = 2 \cdot k_1 \cdot [Eu^{2+}] \cdot [H^+]$ d'où $k_1 = 4,6 \times 10^3 \text{ L}^2 \cdot \text{mol}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ et $k_2 / k_{-1} = 0,19$ (en prenant $k_1 \cdot k_2 / k_{-1} = 8,7 \times 10^2 \text{ L}^2 \cdot \text{mol}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).

Partie 3 – Complexes de l'euprium (III)

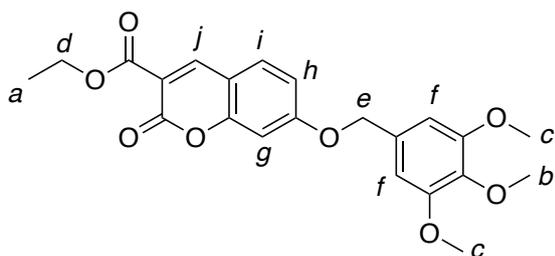
3.A. Synthèse de complexes de l'euprium (III) à ligands organiques

34.



35. Réactif bromé = électrophile, K_2CO_3 = base, H_3CCN = solvant.

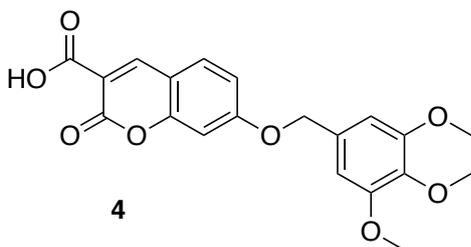
36.



37. Il s'agit d'abord de faire passer l'acide neutre de la phase aqueuse à la phase organique où il est davantage soluble : *XXX* = extraite. Il s'agit ensuite d'éliminer des impuretés en les faisant passer en phase aqueuse : *YYY* = lavée.

38. L'acide chlorhydrique sert à transformer l'ion carboxylate issu de la saponification en acide carboxylique : pH = 6 ne convient pas car il faut être dans le domaine de prédominance de l'acide (pH < pK_a ~ 4) ; pH = 1 est sans doute trop faible, il doit y avoir un risque d'hydrolyse de la lactone ou activation électrophile de C=O en milieu trop acide.

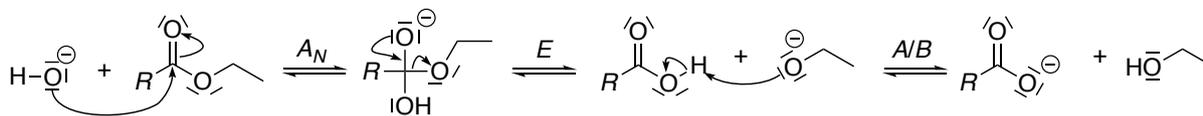
39.



40. **3** : C₂₂H₂₂O₈, M₃ = 414 g·mol⁻¹, donc n_{init}(**3**) = 0,428 mmol ; n_{init}(HO⁻) = 0,85 mmol : **3** est limitant, comme c'était prévisible.

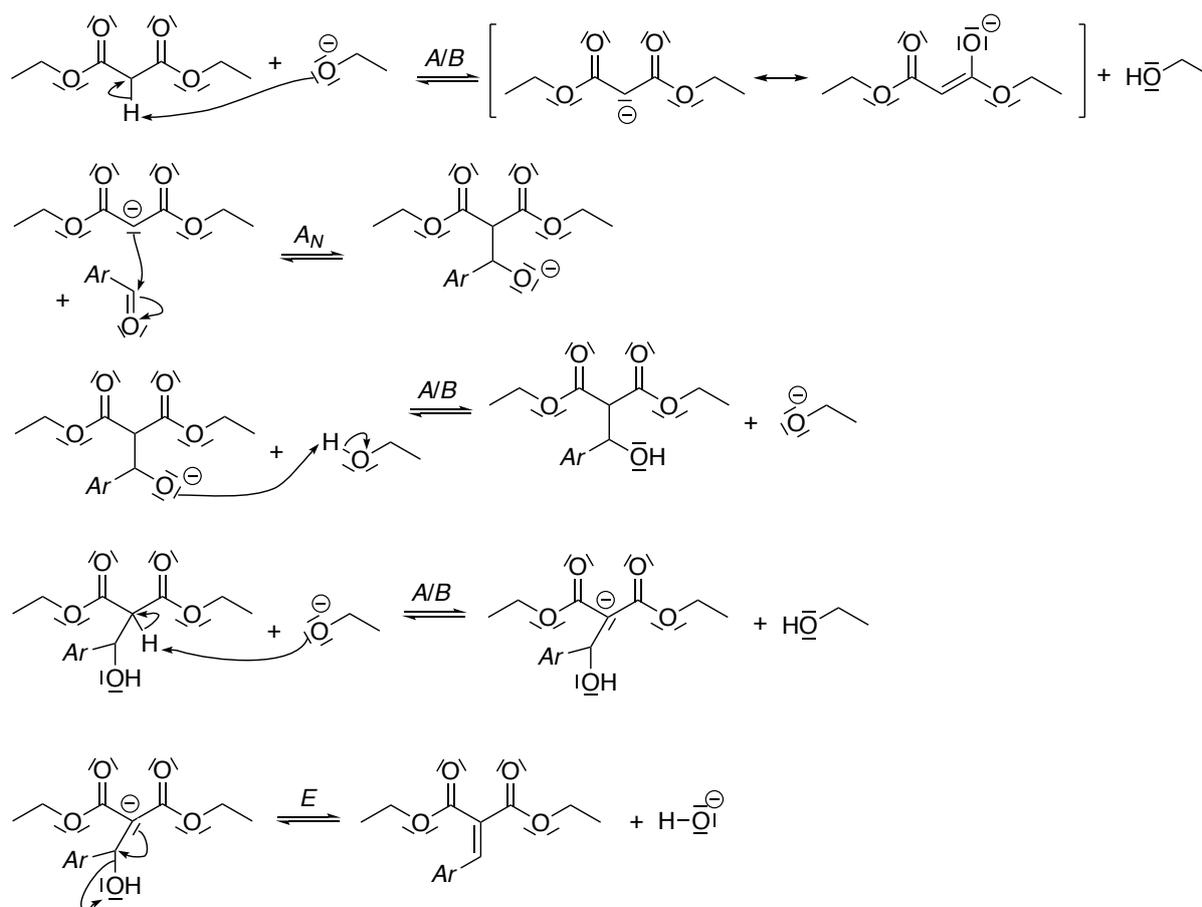
M₄ = 386 g·mol⁻¹, donc n_{formé}(**4**) = 0,355 mmol ; d'où ρ = 0,355/0,428 = 83 %.

41. Mécanisme saponification, en notant **3** RCO₂Et :



42. Il manque une information essentielle : la concentration des oxydants. **4** ne peut pas être spécifique de l'ion superoxyde puisqu'il réagit aussi à H₂O₂.

43. En notant l'aldéhyde **5** $ArCHO$:



44. Enchaînement de :

- synthèse d'éther par la méthode de Williamson au sud-est de **1** par **9** et K_2CO_3 par exemple (éviter la soude qui risque de saponifier) ;
- passage de l'ester à l'amide au nord-ouest de **1** par **10** (éventuellement par saponification de l'ester comme lors du passage de **3** à **4** puis passage au chlorure d'acyle par $SOCl_2$ et acylation de l'amine **10**) ;
- saponification prudente des esters d'éthyle (puis acidification) sans que la lactone du sud-ouest de **1** soit touchée.

45. $EuCl_3 + \mathbf{8} = \mathbf{11} + 3 HCl$

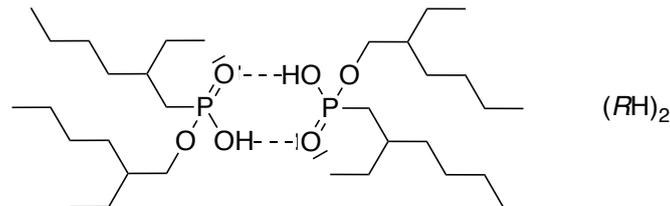
46. Eu octacoordiné : quatre atomes N et trois ions carboxylates du cycle ouest de **8**, atome N ou O de l'amide central de **8**.

47. **11** semble un détecteur spécifique de l'ion peroxyxynitrite. Il est probable que cet anion réagisse sur **11**, pour être transformé en autre chose qui maintienne la diminution de la fluorescence, même après la disparition du peroxyxynitrite.

3.B. Séparation des terres rares par extraction liquide-liquide à l'aide de complexes

48. Ce solvant est beaucoup moins volatil que les solvants cités : il est donc moins dangereux à manipuler et il y a beaucoup moins de pertes par évaporation. Il est aussi moins coûteux (car séparation moins poussée lors de la distillation). Les hydrocarbures à longue chaîne carbonée sont encore plus hydrophobes, ce qui doit limiter les pertes en phase aqueuse et améliorer l'extraction.

49. RH est un acide phosphonique qui peut former des liaisons H intermoléculaires, d'où la formation de dimères associés par liaisons H :



50. $C_{\text{org}} = [\text{RH}(\text{org})] + 2 \cdot [(\text{RH})_2(\text{org})]$; $C_{\text{aq}} = [\text{RH}(\text{aq})] + [\text{R}^-(\text{aq})]$.

51. $[\text{R}^-(\text{aq})] = [\text{RH}(\text{aq})] \cdot K_a \cdot C^\circ / [\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})]$, d'où, immédiatement (R2) :

$$C_{\text{aq}} = [\text{RH}(\text{aq})] \cdot \left(1 + K_a \cdot \frac{C^\circ}{[\text{H}_3\text{O}^+]} \right)$$

52. $\text{pH} < \text{p}K_a - 1$, donc RH est toujours largement prédominant sur R^- , d'un facteur 20 au moins, donc : $C_{\text{aq}} \approx [\text{RH}(\text{aq})]$.

53. Il suffit de l'écrire :

$$D_{\text{RH}} = \frac{C_{\text{org}}}{C_{\text{aq}}} = \frac{[\text{RH}(\text{org})] + 2 \cdot [(\text{RH})_2(\text{org})]}{[\text{RH}(\text{aq})]} = \frac{K_p \cdot [\text{RH}(\text{aq})] + 2 \cdot K_{\text{dim}} \cdot \frac{(K_p \cdot [\text{RH}(\text{aq})])^2}{C^\circ}}{[\text{RH}(\text{aq})]}$$

Et avec $C_{\text{aq}} = [\text{RH}(\text{aq})]$, on obtient la relation (R3) demandée :

$$D_{\text{RH}} = K_p + 2 \cdot K_{\text{dim}} \cdot K_p^2 \cdot \frac{C_{\text{aq}}}{C^\circ}$$

54. Par identification immédiate : $K_p = B = 178$ et $K_{\text{dim}} = A/2B^2 = 2,2 \times 10^4$.

55. $K_p \gg 1$: RH est beaucoup plus en phase organique qu'en phase aqueuse ; $K_{\text{dim}} \gg 1$: l'équilibre de dimérisation est très déplacé vers la formation du dimère.

Donc $C_{\text{org}} \approx C_R$ et $[(\text{RH})_2(\text{org})] \approx C_R/2$.

56. Plus C_R est élevée plus on forme de complexe donc plus M passe en phase organique.

L'équilibre (E4) est d'autant plus favorable aux produits que le pH de la phase aqueuse est élevé : déplacement vers la droite par diminution de la concentration d'un produit.

57. On exprime Q_{r4} à l'équilibre :

$$K_{ex,M} = \frac{[MR_3 \cdot (RH)_3(\text{org})]}{[M^{3+}(\text{aq})]} \cdot \frac{[H^+(\text{aq})]^3}{[(RH)_2(\text{org})]^3}$$

D'où :

$$D_M = \frac{[MR_3 \cdot (RH)_3(\text{org})]}{[M^{3+}(\text{aq})]} = K_{ex,M} \cdot \frac{[(RH)_2(\text{org})]^3}{[H^+(\text{aq})]^3}$$

Qui donne immédiatement (R5) par passage au logarithme décimal.

58. On prévoit :

$$\log D_M - 3 \cdot \text{pH} = \log K_{ex,M} + 3 \cdot \log \left(\frac{[(RH)_2(\text{org})]}{C^\circ} \right)$$

On retrouve bien la droite de pente approximativement 3, avec $\log K_{ex,M}$ comme ordonnée à l'origine : environ 1 pour Y et environ -1 pour Eu. Y est donc le mieux extrait, ce qu'on voit aussi par $\log D_Y - 3 \cdot \text{pH} > \log D_{Eu} - 3 \cdot \text{pH}$.

59. $\log K_{ex,M}$ est l'ordonnée à l'origine de la droite de la figure 9 : environ 1 pour Y et environ -1 pour Eu. Donc $K_{ex,Y} \approx 10$ et $K_{ex,Eu} \approx 0,1$.

60. Par définition de D_M , et en tenant compte de l'égalité des volumes des deux phases, à l'équilibre : $[M^{3+}(\text{aq})] = C_M/(D_M + 1)$, $[MR_3 \cdot (RH)_3(\text{org})] = C_M \cdot D_M/(D_M + 1)$.

Avec les conditions A.

L'yttrium passe pratiquement intégralement (99 %) en phase organique :

$$[Y^{3+}(\text{aq})] = 5,0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} ; [YR_3 \cdot (RH)_3(\text{org})] = 5,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

L'euporium se partage équitablement :

$$[Eu^{3+}(\text{aq})] = [EuR_3 \cdot (RH)_3(\text{org})] = 2,5 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Elles conviennent donc bien pour l'objectif 1 : Eu très majoritaire sur Y en phase aqueuse.

Avec les conditions B.

L'yttrium se partage équitablement :

$$[Y^{3+}(\text{aq})] = [YR_3 \cdot (RH)_3(\text{org})] = 2,5 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

L'euporium reste presque intégralement (99 %) en phase aqueuse :

$$[Eu^{3+}(\text{aq})] = 5,0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} ; [EuR_3 \cdot (RH)_3(\text{org})] = 5,0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Elles conviennent donc bien pour l'objectif 2 : Y quasiment pur en phase organique.