

# Lanthanides et Actinides

## 1) Définitions

### Lanthanides :

1. **Définition** : Les lanthanides sont un groupe d'éléments chimiques du tableau périodique, comprenant les quinze éléments allant du lanthane (La) au lutécium (Lu), et ils partagent des propriétés chimiques et physiques similaires.
2. **Historique** : Les lanthanides ont été découverts progressivement au fil du temps à partir du 19<sup>e</sup> siècle. L'isolation du premier élément lanthanide, le lanthane, a été réalisée en 1839 par le chimiste suédois Carl Gustaf Mosander. Par la suite, d'autres lanthanides ont été découverts et isolés au fur et à mesure des avancées dans les techniques d'analyse chimique.
3. **Découverte** :
  - **Lanthane (La)** : Isolé par Mosander en 1839.
  - **Cérium (Ce)** : Découvert par Jöns Jacob Berzelius et Wilhelm Hisinger en 1803.
  - **Praséodyme (Pr)** : Découvert par Carl Auer von Welsbach en 1885.
  - **Néodyme (Nd)** : Découvert par Carl Auer von Welsbach en 1885.
  - **Prométhium (Pm)** : Découvert plus tard dans le 20<sup>e</sup> siècle par plusieurs chercheurs, mais il est rare dans la nature et principalement produit artificiellement.

Les autres lanthanides ont été découverts et isolés au cours des décennies suivantes par divers chercheurs.

### Actinides :

1. **Définition** : Les actinides sont un groupe d'éléments chimiques du tableau périodique comprenant les quinze éléments allant de l'actinium (Ac) au lawrencium (Lr). Ils sont caractérisés par des propriétés similaires et sont souvent associés en raison de leur position dans le tableau périodique.
2. **Historique** : Les actinides ont également été découverts progressivement au cours du 20<sup>e</sup> siècle. L'actinium, le premier actinide, a été découvert en 1899 par Friedrich Oskar Houtermans. Cependant, la plupart des actinides ont été synthétisés plus tard au cours du 20<sup>e</sup> siècle grâce à des réactions nucléaires artificielles.
3. **Découverte** :
  - **Actinium (Ac)** : Découvert par Friedrich Oskar Houtermans en 1899.
  - **Thorium (Th)** : Connue depuis l'Antiquité, mais isolé pour la première fois par Jöns Jacob Berzelius en 1828.
  - **Protactinium (Pa)** : Découvert par William Crookes en 1871.
  - **Uranium (U)** : Connue depuis l'Antiquité, isolé pour la première fois par Martin Heinrich Klaproth en 1789.
  - **Neptunium (Np)** : Synthétisé pour la première fois en 1940 par Edwin McMillan et Philip H. Abelson.
  - **Plutonium (Pu)** : Synthétisé pour la première fois en 1940 par Glenn T. Seaborg, Ralph A. James, et Albert Ghiorso.

Les autres actinides ont été synthétisés au fur et à mesure des progrès dans la recherche nucléaire et les techniques de synthèse des éléments.

**Lanthanides et Actinides**

H																	He														
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne														
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar														
K	Ca	Sc											Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr				
Rb	Sr	Y											Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe				
Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt									

■ Non-métaux      ■ Semi-métaux      ■ Actinides  
■ Métaux      ■ Lanthanides

### Remarque :

Les termes "**terres rares**" sont souvent utilisés pour faire référence aux éléments lanthanides, bien que techniquement le lanthane soit généralement exclu de cette catégorie.

Les terres rares comprennent les quinze éléments lanthanides, qui vont du cérium (Ce) au lutécium (Lu) dans le tableau périodique. Ces éléments partagent des propriétés chimiques et physiques similaires, ce qui les distingue des autres éléments.

Les actinides, en revanche, sont généralement considérés comme une catégorie distincte. Ils sont situés sous les lanthanides dans le tableau périodique et comprennent les quinze éléments allant de l'actinium (Ac) au lawrencium (Lr). Les actinides ont des propriétés différentes des lanthanides, bien qu'ils partagent certains traits communs en raison de leur position dans le tableau périodique.

Ces deux groupes, les lanthanides et les actinides, ont des applications importantes dans divers domaines tels que la technologie des aimants permanents, l'électronique, la catalyse, et dans certains cas, l'énergie nucléaire. Bien que les termes "terres rares" et "actinides" se réfèrent à des groupes distincts, ils sont tous deux inclus dans le domaine des éléments de terres rares et sont souvent étudiés en conjonction en raison de leurs propriétés similaires.

### Les éléments radioactifs

Les actinides et les lanthanides comprennent des éléments qui peuvent être radioactifs. Cela signifie qu'ils peuvent subir des processus de désintégration radioactive, émettant divers types de rayonnements. Voici une vue d'ensemble des types de rayonnement émis par certains actinides et lanthanides :

### Actinides :

#### 1. Uranium (U) :

- Émet des rayonnements alpha, bêta, et gamma.

- Principalement l'**uranium-238** subit une désintégration alpha.
- 2. **Thorium (Th) :**
  - Principalement l'**isotope thorium-232** subit une désintégration alpha.
- 3. **Protactinium (Pa) :**
  - Émet des rayonnements alpha et bêta.
- 4. **Plutonium (Pu) :**
  - Émet des rayonnements alpha et parfois bêta et gamma, selon l'isotope spécifique. Par exemple, **plutonium-239** subit une désintégration alpha.
- 5. **Neptunium (Np) :**
  - Principalement l'**isotope neptunium-237** subit une désintégration bêta.

### **Lanthanides :**

1. **Europium (Eu) :**
  - Certains isotopes d'euporium, comme **euporium-152** et **euporium-154**, sont connus pour émettre des rayonnements gamma.
2. **Thulium (Tm) :**
  - Principalement l'**isotope thulium-170** subit une désintégration bêta.
3. **Prométhium (Pm) :**
  - Tous les isotopes de prométhium sont radioactifs. Le **prométhium-145** émet des rayonnements bêta.
4. **Lutécium (Lu) :**
  - Le **lutécium-176** émet des rayonnements bêta.

Il est important de noter que la radioactivité varie selon l'isotope spécifique de chaque élément. Certains isotopes peuvent être plus stables et moins radioactifs que d'autres. La compréhension des types de rayonnements émis par ces éléments est cruciale dans le contexte de la sécurité radiologique et de l'utilisation des matériaux radioactifs, notamment dans les applications nucléaires et médicales.

### **Remarque :**

En général, la plupart des actinides ont des isotopes radioactifs, tandis que les lanthanides ont tendance à avoir des isotopes stables.

### **Lanthanides :**

La plupart des lanthanides ont au moins un isotope stable. Par exemple :

- **Lanthane (La) :** Tous les isotopes du lanthane sont stables.
- **Cérium (Ce) :** Tous les isotopes du cérium sont stables.
- **Dysprosium (Dy) :** Tous les isotopes du dysprosium sont stables.

### **Actinides :**

Les actinides ont tendance à avoir des isotopes radioactifs, mais certains isotopes peuvent être stables. Par exemple :

- **Thorium (Th) :** L'isotope **thorium-232** est le plus abondant et est relativement stable.

- **Uranium (U)** : L'isotope **uranium-238** est abondant et a une demi-vie très longue, le rendant relativement stable. L'uranium-235 est également utilisé dans les réacteurs nucléaires.
- **Plomb (Pb)** : Bien que le plomb ne soit pas un actinide, il est souvent présent dans la chaîne de désintégration des actinides et est stable. Par exemple, l'uranium-238 se désintègre en plomb-206.

## 2) Configuration électronique

Les actinides sont une série de quinze éléments chimiques du tableau périodique, allant de l'actinium (élément 89) au lawrencium (élément 103). Comme les lanthanides (qui se trouvent au-dessus des actinides dans le tableau périodique), les actinides sont souvent appelés les "terres rares internes". Voici la liste des actinides avec leurs configurations électroniques typiques et quelques tendances générales :

1. **Actinium (Ac, Z = 89)** : [Rn] 6d1 7s2
2. **Thorium (Th, Z = 90)** : [Rn] 6d2 7s2
3. **Protactinium (Pa, Z = 91)** : [Rn] 5f2 6d1 7s2
4. **Uranium (U, Z = 92)** : [Rn] 5f3 6d1 7s2
5. **Neptunium (Np, Z = 93)** : [Rn] 5f4 6d1 7s2
6. **Plutonium (Pu, Z = 94)** : [Rn] 5f6 7s2
7. **Américium (Am, Z = 95)** : [Rn] 5f7 7s2
8. **Curium (Cm, Z = 96)** : [Rn] 5f7 6d1 7s2
9. **Berkélium (Bk, Z = 97)** : [Rn] 5f9 7s2
10. **Californium (Cf, Z = 98)** : [Rn] 5f10 7s2
11. **Einsteinium (Es, Z = 99)** : [Rn] 5f11 7s2
12. **Fermium (Fm, Z = 100)** : [Rn] 5f12 7s2
13. **Mendélévium (Md, Z = 101)** : [Rn] 5f13 7s2
14. **Nobélium (No, Z = 102)** : [Rn] 5f14 7s2
15. **Lawrencium (Lr, Z = 103)** : [Rn] 5f14 7s2 7p1

### Tendances générales :

- Les actinides ont une tendance à augmenter de taille atomique à mesure que vous descendez dans le groupe en raison de l'ajout de couches électroniques.
- L'énergie d'ionisation tend à diminuer à mesure que vous descendez dans le groupe, facilitant ainsi la perte d'électrons.
- La réactivité chimique des actinides varie, mais en général, ils ont tendance à former des composés avec une valence de +3, +4, +5 ou +6.

Les lanthanides sont une série de quinze éléments chimiques du tableau périodique, allant du lanthane (élément 57) au lutécium (élément 71). Voici la liste des lanthanides avec leurs configurations électroniques typiques et quelques tendances générales :

1. **Lanthane (La, Z = 57)** : [Xe] 5d1 6s2
2. **Cérium (Ce, Z = 58)** : [Xe] 4f1 5d1 6s2
3. **Praséodyme (Pr, Z = 59)** : [Xe] 4f3 6s2
4. **Néodyme (Nd, Z = 60)** : [Xe] 4f4 6s2
5. **Prométhium (Pm, Z = 61)** : [Xe] 4f5 6s2

6. **Samarium (Sm, Z = 62)** : [Xe] 4f6 6s2
7. **Europium (Eu, Z = 63)** : [Xe] 4f7 6s2
8. **Gadolinium (Gd, Z = 64)** : [Xe] 4f7 5d1 6s2
9. **Térbium (Tb, Z = 65)** : [Xe] 4f9 6s2
10. **Dysprosium (Dy, Z = 66)** : [Xe] 4f10 6s2
11. **Holmium (Ho, Z = 67)** : [Xe] 4f11 6s2
12. **Erbium (Er, Z = 68)** : [Xe] 4f12 6s2
13. **Thulium (Tm, Z = 69)** : [Xe] 4f13 6s2
14. **Ytterbium (Yb, Z = 70)** : [Xe] 4f14 6s2
15. **Lutécium (Lu, Z = 71)** : [Xe] 4f14 5d1 6s2

### Tendances générales :

- Les lanthanides ont une tendance à augmenter de taille atomique à mesure que vous descendez dans le groupe en raison de l'ajout de couches électroniques.
- L'énergie d'ionisation tend à augmenter à mesure que vous descendez dans le groupe, ce qui signifie que les éléments lanthanides ont une affinité élevée pour les électrons.
- Les lanthanides ont une tendance à former des composés avec une valence de +3.

### 3) Les propriétés thermodynamiques des actinides et des lanthanides

#### Les grandeurs thermodynamiques des actinides et des lanthanides

Les propriétés thermodynamiques des actinides et des lanthanides varient en fonction des éléments spécifiques au sein de chaque groupe. Voici quelques-unes des grandeurs thermodynamiques importantes associées à ces groupes d'éléments :

#### Actinides :

1. **Énergie d'ionisation** : L'énergie d'ionisation, qui mesure l'énergie nécessaire pour enlever un électron d'un atome neutre, diminue généralement à mesure que l'on descend dans le groupe des actinides. Cela signifie que les actinides inférieurs ont une plus grande facilité à perdre un électron que les actinides supérieurs.
2. **Rayon atomique** : Le rayon atomique, qui mesure la taille apparente de l'atome, a tendance à augmenter en descendant dans le groupe des actinides. Cela est dû à l'ajout de couches électroniques successives.
3. **Affinité électronique** : L'affinité électronique, qui mesure la tendance d'un atome à gagner un électron, peut varier, mais en général, elle a tendance à diminuer en descendant dans le groupe des actinides.
4. **Conductivité thermique** : Variable, généralement faible.
5. **Chaleur spécifique** : Variable, dépend de l'élément spécifique et de la phase.
6. **Point de fusion et d'ébullition** : Ces valeurs varient considérablement selon l'actinide.  
Par exemple :
  - Uranium (U) : Point de fusion à 1 413 °C, point d'ébullition à 4 131 °C.
  - Plutonium (Pu) : Point de fusion à 639 °C, point d'ébullition à environ 3 228 °C.

#### Lanthanides :

1. **Énergie d'ionisation** : De manière similaire aux actinides, l'énergie d'ionisation a tendance à diminuer en descendant dans le groupe des lanthanides.

2. **Rayon atomique** : Le rayon atomique des lanthanides augmente en descendant dans le groupe, à nouveau en raison de l'ajout de couches électroniques.
3. **Affinité électronique** : L'affinité électronique des lanthanides peut varier, mais elle a tendance à être faible dans l'ensemble.
4. **Conductivité thermique** : Variable, généralement faible.
5. **Chaleur spécifique** : Variable, dépend de l'élément spécifique et de la phase.
6. **Point de fusion et d'ébullition** : Ces valeurs varient considérablement selon le lanthanide. Par exemple :
  1. Lanthane (La) : Point de fusion à 920 °C, point d'ébullition à 3 464 °C.
  2. Europium (Eu) : Point de fusion à 822 °C, point d'ébullition à 1 527 °C.

Les propriétés thermodynamiques exactes dépendent de la configuration électronique spécifique de chaque élément et peuvent être influencées par des facteurs tels que les interactions électroniques et les effets de la relativité.

## Réactivité

La réactivité chimique peut être influencée par des facteurs tels que la température, la pression, et les conditions environnementales spécifiques. De plus, certains éléments actinides, en raison de leur radioactivité, présentent des propriétés de réactivité nucléaire uniques qui sont distinctes de celles des éléments non-radioactifs

### Réactivité des Lanthanides :

1. **Lanthanides sont souvent réactifs chimiquement.** Ils réagissent généralement avec l'oxygène et l'eau pour former des oxydes et des hydroxydes respectivement.
2. **Ils peuvent réagir avec les acides, mais cette réactivité diminue en descendant dans le groupe.** Certains lanthanides réagissent plus vigoureusement que d'autres avec les acides.
3. **Réactivité avec d'autres éléments** : Les lanthanides peuvent former des composés avec une variété d'éléments, y compris le soufre, le carbone, l'azote, et d'autres non-métaux.

### Réactivité des Actinides :

1. **Réactivité chimique variable.** Elle dépend du contexte spécifique et de l'élément actinide considéré.
2. **Réactivité avec l'oxygène** : La plupart des actinides réagissent avec l'oxygène pour former des oxydes. Cependant, cette réactivité peut varier en fonction de l'élément spécifique et des conditions.
3. **Réactivité avec l'eau** : Certains actinides réagissent avec l'eau pour former des hydroxydes, mais la réactivité peut être modérée et dépend du contexte.
4. **Réactivité avec les acides** : Certains actinides peuvent réagir avec des acides, mais la réactivité peut varier considérablement d'un actinide à l'autre.
5. **Réactivité nucléaire** : Les actinides sont également connus pour leur réactivité nucléaire. Certains d'entre eux subissent des réactions de fission nucléaire, un processus fondamental dans les réacteurs nucléaires.

## **4) Les propriétés de solvatation, d'hydrolyse et de complexation**

### **Solvatation :**

La solvatation des lanthanides et actinides est un aspect important de leur comportement chimique, en particulier dans des environnements aqueux où l'eau est le solvant prédominant. La solvatation implique l'interaction des ions métalliques avec les molécules de solvant (principalement de l'eau) pour former des espèces solvatées. Voici une explication plus détaillée de la solvatation pour les lanthanides et les actinides :

### **Solvatation des Lanthanides :**

#### **1. Formation d'ions Lanthanides(III) :**

- Les lanthanides ont tendance à former des ions trivalents ( $\text{Ln}^{3+}$ ) dans les solutions aqueuses. Ces ions peuvent interagir avec les molécules d'eau environnantes.

#### **2. Espèces d'Hydratation :**

- Les ions lanthanides(III) peuvent former des espèces d'hydratation où des molécules d'eau se lient directement à l'ion métallique. Par exemple,  $\text{La}^{3+}$  peut former  $\text{La}(\text{H}_2\text{O})_9^{3+}$ , où neuf molécules d'eau entourent l'ion  $\text{La}^{3+}$ .

#### **3. Influence du Rayon Ionique :**

- Les lanthanides ont des rayons ioniques similaires en raison de la contraction des électrons f dans les orbitales 4f, ce qui peut rendre leurs interactions avec les molécules d'eau relativement similaires.

### **Solvatation des Actinides :**

#### **1. Formation d'Ions Actinides(III) et (IV) :**

- Les actinides peuvent former des ions trivalents ( $\text{An}^{3+}$ ) ou tétravalents ( $\text{An}^{4+}$ ) dans les solutions aqueuses, en fonction de leur état d'oxydation.

#### **2. Espèces d'Hydratation et d'Hydrolyse :**

- Les ions actinides peuvent également former des espèces d'hydratation, où des molécules d'eau se lient directement à l'ion. En outre, les actinides peuvent subir une hydrolyse, formant des espèces d'hydroxydes.

#### **3. Influence de la Radioactivité :**

- La radioactivité des actinides peut influencer leur solvatation. Certains isotopes actinides peuvent subir des réactions nucléaires ou des transmutations qui affectent leurs propriétés chimiques et leur solvatation.

### **Facteurs Influent Communs :**

#### **1. pH :**

- Le pH de la solution influence la solvatation. À des pH différents, les espèces d'hydrolyse ou les complexes peuvent prédominer.

#### **2. Nature des Ligands :**

- En dehors de l'eau, les actinides et les lanthanides peuvent former des complexes avec d'autres ligands, influençant ainsi leur solvatation.

#### **3. Concentration Ionique :**

- La concentration ionique dans la solution peut également influencer la solvatation et la formation de complexes.

## **Exemples :**

### **Solvatation des Actinides :**

- 1. Uranium (U) :**
  - En solution aqueuse, l'ion uranyle ( $\text{UO}_2^{2+}$ ) est courant. Il est solvaté par des molécules d'eau.
- 2. Thorium (Th) :**
  - L'ion thorium(IV) ( $\text{Th}^{4+}$ ) est une espèce commune dans les solutions acides. Il peut former des complexes avec des molécules d'eau.
- 3. Plutonium (Pu) :**
  - L'ion  $\text{Pu}(\text{OH})_4^{2-}$  est un exemple d'espèce hydrolysée résultant de l'hydrolyse du plutonium en solution aqueuse.

### **Solvatation des Lanthanides :**

- 1. Lanthane (La) :**
  - En solution aqueuse, l'ion lanthane(III) ( $\text{La}^{3+}$ ) peut former des complexes avec des molécules d'eau.
- 2. Cérium (Ce) :**
  - L'ion cérium(III) ( $\text{Ce}^{3+}$ ) est fréquemment solvaté par des molécules d'eau dans les solutions aqueuses.
- 3. Europium (Eu) :**
  - L'ion europium(III) ( $\text{Eu}^{3+}$ ) peut former des complexes avec des ligands organiques et est également solvaté par des molécules d'eau.

## **Spéciation**

La spéciation des actinides et des lanthanides se réfère à la distribution des différentes espèces chimiques d'un élément dans un milieu donné. Elle dépend de divers facteurs tels que le pH, la concentration, la nature des ligands présents, et d'autres conditions du milieu. Voici une explication plus détaillée de la spéciation pour les actinides et les lanthanides :

### **Spéciation des Lanthanides :**

- 1. Formation d'Ions Lanthanides(III) :**
  - Les lanthanides ont tendance à former des ions trivalents ( $\text{Ln}^{3+}$ ) dans les solutions aqueuses. La charge +3 est typique pour ces éléments en solution.
- 2. Formation de Complexes :**
  - Les lanthanides peuvent former des complexes avec divers ligands, y compris des molécules d'eau (espèces d'hydratation) et d'autres ligands organiques ou inorganiques. La formation de complexes peut être influencée par le pH et la nature des ligands.
- 3. Changement de Coordination :**

- En fonction des conditions environnementales, les lanthanides peuvent changer de coordination, passant d'une coordination octaédrique à une coordination dodécaédrique en formant des complexes avec des ligands différents.

## **Spéciation des Actinides :**

### **1. Formation d'Ions Actinides(III) et (IV) :**

- Les actinides peuvent former des ions trivalents ( $An^{3+}$ ) ou tétravalents ( $An^{4+}$ ) dans les solutions aqueuses, en fonction de leur état d'oxydation. Les espèces d' $An^{3+}$  sont plus courantes dans des conditions réductrices, tandis que les espèces d' $An^{4+}$  peuvent se former dans des conditions plus oxydantes.

### **2. Hydrolyse et Formation d'Hydroxydes :**

- Les actinides peuvent subir une hydrolyse, formant des espèces d'hydroxydes. Par exemple, l'uranium(IV) peut former des hydroxydes insolubles comme  $UO_2(OH)_2$  en présence d'eau.

### **3. Formation de Complexes :**

- Les actinides peuvent former une variété de complexes avec des ligands divers. Par exemple, l'uranium peut former des complexes avec des ligands tels que les carbonates, les phosphates, les oxalates, etc.

### **4. Influence de la Radioactivité :**

- La radioactivité des actinides peut influencer leur spéciation. Certains isotopes actinides peuvent subir des réactions nucléaires ou des transmutations qui affectent la distribution des espèces chimiques.

## **Facteurs Influent Communs :**

### **1. pH :**

- Le pH du milieu a un impact significatif sur la spéciation. À des pH différents, les espèces d'hydrolyse, les complexes et les espèces d'hydratation peuvent prédominer.

### **2. Nature des Ligands :**

- Les types de ligands présents dans le milieu peuvent influencer la formation de complexes et la spéciation.

### **3. Concentration Ionique :**

- La concentration ionique dans la solution peut également influencer la spéciation en affectant la formation de complexes et d'espèces d'hydratation.

La spéciation est une composante cruciale de la compréhension du comportement chimique des actinides et des lanthanides dans des environnements variés, tels que les sols, les eaux souterraines, ou les solutions utilisées dans l'industrie nucléaire.

## **Exemples**

les ions lanthanides et actinides peuvent former une variété de complexes avec différents ligands, et comment la spéciation peut varier en fonction des conditions chimiques de l'environnement. La compréhension de la spéciation est essentielle pour évaluer le comportement des lanthanides et actinides dans des systèmes environnementaux complexes, tels que les eaux souterraines contaminées ou les sites nucléaires.

## **Exemples de Spéciation des Lanthanides :**

### 1. Europium (Eu) :

- En solution aqueuse, l'ion europium(III) ( $\text{Eu}^{3+}$ ) peut former des complexes avec des ligands tels que les ions carbonate, les ions citrate, ou même les ions hydroxydes en fonction du pH. Ces complexes peuvent avoir différentes propriétés de solubilité.

### 2. Cérium (Ce) :

- Les espèces de cérium(III) ( $\text{Ce}^{3+}$ ) peuvent subir des changements de coordination en formant des complexes avec des ligands tels que les ions fluorure, les ions oxalate ou les ions acide éthylènediaminetétraacétique (EDTA).

## Exemples de Spéciation des Actinides :

### 1. Uranium (U) :

- L'uranium(IV) ( $\text{U}^{4+}$ ) peut former des complexes avec des ligands tels que les ions carbonate en solution aqueuse. En présence d'eau, l'uranium peut également subir une hydrolyse pour former des espèces d'hydroxydes.

### 2. Plutonium (Pu) :

- Le plutonium(IV) ( $\text{Pu}^{4+}$ ) peut former des complexes avec des ligands organiques tels que les acides humiques présents dans le sol. Ces complexes peuvent influencer la mobilité du plutonium dans l'environnement.

### 3. Thorium (Th) :

- L'ion thorium(IV) ( $\text{Th}^{4+}$ ) peut former des complexes avec des ligands tels que les ions sulfate ou les ions oxalate. La spéciation du thorium peut être influencée par le pH de la solution.

### 4. Neptunium (Np) :

- Le neptunium(V) ( $\text{Np}^{5+}$ ) en solution aqueuse peut former des complexes avec des ligands tels que les ions carbonates. La spéciation du neptunium peut également dépendre de la concentration en ions réducteurs.

## Réactions de Complexation

Les réactions de complexation impliquent la formation de complexes entre des ions métalliques et des ligands. Les ligands peuvent être des molécules ou des ions qui possèdent des centres donneurs de paire d'électrons, tels que des atomes d'azote, d'oxygène ou de soufre. Voici quelques exemples de réactions de complexation impliquant les lanthanides et les actinides :

## Réactions de Complexation des Lanthanides :

### 1. Formation d'un Complexe avec l'EDTA (Acide éthylènediaminetétraacétique) :



- **Exemple :** La formation d'un complexe entre un ion lanthanide ( $\text{Ln}^{3+}$ ) et l'EDTA, un ligand couramment utilisé en chimie de coordination.

### 2. Formation de Complexes avec les Ligands Organiques :



- **Exemple :** Les lanthanides peuvent former des complexes avec divers ligands organiques, tels que les acides humiques dans le sol.

## Réactions de Complexation des Actinides :

1. **Formation d'un Complexe avec l'Acide Diéthylènetriaminepentacétique (DTPA) :**



- **Exemple :** La formation d'un complexe entre un ion actinide ( $An^{4+}$ ) et le DTPA, un ligand utilisé pour la chélation des métaux.

2. **Formation de Complexes avec les Ions Carbonate :**



- **Exemple :** Les actinides peuvent former des complexes avec les ions carbonate en solution aqueuse.

3. **Formation de Complexes avec l'Oxalate :**



- **Exemple :** Les actinides peuvent réagir avec les ions oxalate pour former des complexes.

Ces réactions de complexation sont généralement étudiées expérimentalement en laboratoire en utilisant des techniques telles que la spectrophotométrie, la potentiométrie, ou la chromatographie pour caractériser la formation des complexes et déterminer les constantes de stabilité des complexes formés. Les résultats de telles études sont essentiels pour comprendre le comportement chimique des lanthanides et des actinides dans divers environnements.