

## Conducteur vidéo de la capsule 2 sur la transformation chimique – Quantité de matière et avancement



### Capsules didactiques en physique-chimie

#### La transformation chimique - Épisode 2

Quantité de matière et avancement



Bonjour, l'objectif de cette vidéo est d'illustrer les difficultés liées à la notion d'avancement, notamment pour la prévision de la composition d'un système chimique.

Elle s'inscrit dans un ensemble de trois vidéos dédiées à l'étude de la transformation chimique au collège et au lycée.

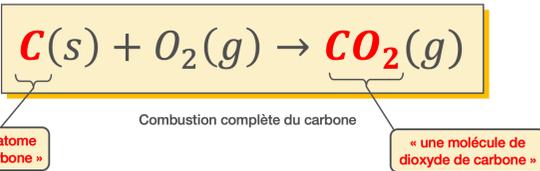
## Conducteur vidéo de la capsule 2 sur la transformation chimique – Quantité de matière et avancement

### Quantité de matière et avancement

#### → Introduction

- 1- Le mot « quantité »
  - 2- La quantité de matière... pourquoi ?
  - 3- Le tableau d'avancement
  - 4- Le diagramme en bâtons
- Conclusion

### Introduction : équation de réaction



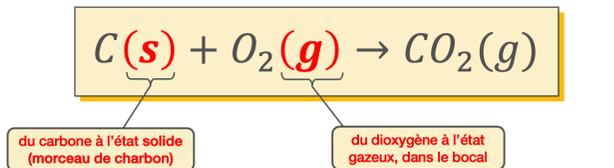
→ Échelle microscopique

### Quantité de matière et avancement

#### → Introduction

- 1- Le mot « quantité »
  - 2- La quantité de matière... pourquoi ?
  - 3- Le tableau d'avancement
  - 4- Le diagramme en bâtons
- Conclusion

### Introduction : équation de réaction



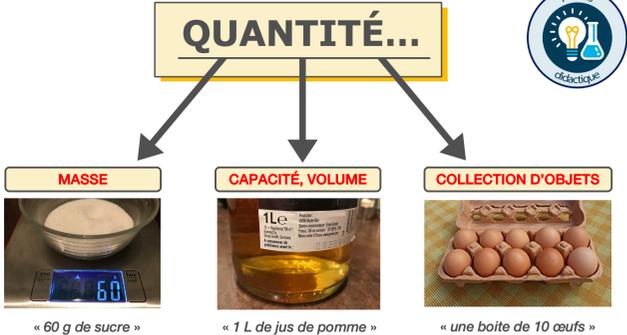
→ Échelle microscopique  
→ Échelle macroscopique



A la fin du cycle 4, comme décrit dans l'épisode 1, les élèves connaissent l'équation de la réaction, qui leur permet de décrire une transformation chimique :

- d'une part à l'échelle microscopique, car l'équation de réaction précise quelles entités interviennent dans la transformation **et en quelles proportions** ;
- d'autre part à l'échelle macroscopique, puisque l'état physique indiqué donne des renseignements sur chaque espèce chimique mise en jeu.

## Conducteur vidéo de la capsule 2 sur la transformation chimique – Quantité de matière et avancement

<p><b>Quantité de matière et avancement</b></p> <p>→ <b>Introduction</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>1- Le mot « quantité »</li><li>2- La quantité de matière... pourquoi ?</li><li>3- Le tableau d'avancement</li><li>4- Le diagramme en bâtons</li></ul> <p>Conclusion</p>	<p><b>Introduction :</b></p> <p>→ Cas des transformations chimiques <b>totales</b>.</p> <p>→ Deux nouvelles grandeurs au lycée :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- la quantité de matière : <b><math>n</math> (en mol)</b></li><li>- l'avancement de réaction : <b><math>x</math> (en mol)</b></li></ul>	<p>Dans cette vidéo, nous nous restreindrons aux transformations chimiques totales.</p> <p>Au lycée, afin de décrire de façon quantitative la composition d'un système chimique et faire des prévisions sur son évolution, il est nécessaire d'introduire deux nouvelles grandeurs physiques : la quantité de matière et l'avancement de réaction ; grandeurs dont l'étude est l'enjeu de cette vidéo.</p> <p>Nous allons d'abord discuter de la polysémie du mot « quantité », puis nous verrons la nécessité d'introduire la notion de quantité de matière et de l'utiliser pour décrire un système chimique de manière quantitative.</p>
<p><b>Quantité de matière et avancement</b></p> <p>Introduction</p> <p>→ <b>1- Le mot « quantité »</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>2- La quantité de matière... pourquoi ?</li><li>3- Le tableau d'avancement</li><li>4- Le diagramme en bâtons</li></ul> <p>Conclusion</p>	<p><b>Le mot « quantité » est polysémique</b></p>  <p>« 60 g de sucre »      « 1 L de jus de pomme »      « une boîte de 10 œufs »</p>	<p>Quelles sont les difficultés rencontrées par les élèves lorsque le mot "quantité" est employé ?</p> <p><b>Focus didactique :</b> dans le vocabulaire courant, le mot "quantité" peut revêtir de nombreuses significations et renvoyer par ex. à la masse d'un échantillon, à son volume, ou bien encore à une collection d'objets.</p>

## Conducteur vidéo de la capsule 2 sur la transformation chimique – Quantité de matière et avancement

<p>Quantité de matière et avancement</p> <p>Introduction</p> <p>→ 1- Le mot « quantité »</p> <p>2- La quantité de matière... pourquoi ?</p> <p>3- Le tableau d'avancement</p> <p>4- Le diagramme en bâtons</p> <p>Conclusion</p>	<h3>Le mot « quantité »</h3>  <div style="border: 2px solid black; padding: 5px; text-align: center; margin: 10px 0;"> <h2>QUANTITÉ...</h2> </div> <p>Au collège : « <b>La masse est liée à la quantité de matière.</b> »</p> <p>Au lycée : DISTINCTION entre « <b>masse</b> » et « <b>quantité de matière</b> »</p>	<p>- Au collège, nous pouvons utiliser les termes "quantité" ou "quantité de matière" en disant par exemple : « la masse est liée à la quantité de matière ». Cette formulation, nécessaire, peut toutefois amener certains élèves à penser que la masse et la quantité de matière sont une seule et même grandeur. De toutes façons, les élèves ne sont pas encore en mesure de comprendre ce qu'est la quantité de matière à ce stade.</p> <p>- Au lycée, il va donc être indispensable de bien leur montrer que la masse et la quantité de matière sont deux grandeurs physiques, certes liées l'une à l'autre, mais bien distinctes.</p>																																
<p>Quantité de matière et avancement</p> <p>Introduction</p> <p>1- Le mot « quantité »</p> <p>→ 2- La quantité de matière... pourquoi ?</p> <p>3- Le tableau d'avancement</p> <p>4- Le diagramme en bâtons</p> <p>Conclusion</p>	<h3>La quantité de matière... pourquoi ?</h3>  <div style="border: 2px solid black; padding: 5px; text-align: center; margin: 10px 0;"> <p>« Du carbone et du dioxygène réagissent pour former du dioxyde de carbone. »</p> <math display="block">C + O_2 \rightarrow CO_2</math> </div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>NOMBRE d'entités mises en jeu</th> <th colspan="3">MASSES correspondantes (valeurs approchées, en g)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td><math>2,0 \times 10^{-23} \text{ g}</math></td> <td><math>5,3 \times 10^{-23} \text{ g}</math></td> <td><math>7,3 \times 10^{-23} \text{ g}</math></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td><math>2,0 \times 10^{-22} \text{ g}</math></td> <td><math>5,3 \times 10^{-22} \text{ g}</math></td> <td><math>7,3 \times 10^{-22} \text{ g}</math></td> </tr> <tr> <td>1000</td> <td><math>2,0 \times 10^{-20} \text{ g}</math></td> <td><math>5,3 \times 10^{-20} \text{ g}</math></td> <td><math>7,3 \times 10^{-20} \text{ g}</math></td> </tr> <tr> <td><math>10^9</math></td> <td><math>2,0 \times 10^{-14} \text{ g}</math></td> <td><math>5,3 \times 10^{-14} \text{ g}</math></td> <td><math>7,3 \times 10^{-14} \text{ g}</math></td> </tr> <tr> <td><math>10^{20}</math></td> <td><math>2,0 \times 10^{-3} \text{ g} \approx 2 \text{ mg}</math></td> <td><math>5,3 \times 10^{-3} \text{ g}</math></td> <td><math>7,3 \times 10^{-3} \text{ g}</math></td> </tr> <tr> <td><math>10^{23}</math></td> <td>2,0 g</td> <td>5,3 g</td> <td>7,3 g</td> </tr> <tr> <td><math>N_A = 6,022 \times 10^{23}</math> soit, « une mole »</td> <td>12 g</td> <td>32 g</td> <td>44 g</td> </tr> </tbody> </table>	NOMBRE d'entités mises en jeu	MASSES correspondantes (valeurs approchées, en g)			1	$2,0 \times 10^{-23} \text{ g}$	$5,3 \times 10^{-23} \text{ g}$	$7,3 \times 10^{-23} \text{ g}$	10	$2,0 \times 10^{-22} \text{ g}$	$5,3 \times 10^{-22} \text{ g}$	$7,3 \times 10^{-22} \text{ g}$	1000	$2,0 \times 10^{-20} \text{ g}$	$5,3 \times 10^{-20} \text{ g}$	$7,3 \times 10^{-20} \text{ g}$	$10^9$	$2,0 \times 10^{-14} \text{ g}$	$5,3 \times 10^{-14} \text{ g}$	$7,3 \times 10^{-14} \text{ g}$	$10^{20}$	$2,0 \times 10^{-3} \text{ g} \approx 2 \text{ mg}$	$5,3 \times 10^{-3} \text{ g}$	$7,3 \times 10^{-3} \text{ g}$	$10^{23}$	2,0 g	5,3 g	7,3 g	$N_A = 6,022 \times 10^{23}$ soit, « une mole »	12 g	32 g	44 g	<p>À présent, concentrons-nous sur la notion de quantité de matière.</p> <p>Au cycle 4, les élèves modélisent la transformation chimique à l'échelle microscopique. Par exemple, les équations de transformations chimiques sont écrites avec les nombres stœchiométriques les plus petits possibles, correspondant à un nombre minimal d'entités chimiques à mettre en jeu pour respecter les proportions de la transformation chimique.</p> <p>Cependant, les masses d'espèces chimiques mises en jeu sont bien trop petites pour être mesurées.</p> <p>Par exemple, pour la combustion du carbone, la masse mise en jeu pour un atome de carbone vaut environ <math>2 \times 10^{-23} \text{ g}</math>. Même avec un milliard d'atomes de carbone la masse ne vaut que <math>2 \times 10^{-14} \text{ g}</math>. Il faut mobiliser pas moins de <math>10^{20}</math> entités, soit 100 milliards de milliards, pour travailler avec une masse de carbone de l'ordre du mg.</p> <p>Toutes ces considérations justifient l'utilisation du nombre d'Avogadro qui permet la transition du monde microscopique au monde macroscopique et ainsi le passage de l'écriture et de la lecture de l'équation de réaction de l'échelle microscopique à l'échelle macroscopique.</p>
NOMBRE d'entités mises en jeu	MASSES correspondantes (valeurs approchées, en g)																																	
1	$2,0 \times 10^{-23} \text{ g}$	$5,3 \times 10^{-23} \text{ g}$	$7,3 \times 10^{-23} \text{ g}$																															
10	$2,0 \times 10^{-22} \text{ g}$	$5,3 \times 10^{-22} \text{ g}$	$7,3 \times 10^{-22} \text{ g}$																															
1000	$2,0 \times 10^{-20} \text{ g}$	$5,3 \times 10^{-20} \text{ g}$	$7,3 \times 10^{-20} \text{ g}$																															
$10^9$	$2,0 \times 10^{-14} \text{ g}$	$5,3 \times 10^{-14} \text{ g}$	$7,3 \times 10^{-14} \text{ g}$																															
$10^{20}$	$2,0 \times 10^{-3} \text{ g} \approx 2 \text{ mg}$	$5,3 \times 10^{-3} \text{ g}$	$7,3 \times 10^{-3} \text{ g}$																															
$10^{23}$	2,0 g	5,3 g	7,3 g																															
$N_A = 6,022 \times 10^{23}$ soit, « une mole »	12 g	32 g	44 g																															

## Conducteur vidéo de la capsule 2 sur la transformation chimique – Quantité de matière et avancement

<p><b>Quantité de matière et avancement</b></p> <p>Introduction</p> <p>1- Le mot « quantité »</p> <p>2- La quantité de matière... pourquoi ?</p> <p><b>→ 3- Le tableau d'avancement</b></p> <p>4- Le diagramme en bâtons</p> <p>Conclusion</p>	<h3 style="text-align: center;">Le tableau d'avancement</h3> <div style="text-align: right; margin-bottom: 10px;"> </div> <p>Nous venons de voir les difficultés associées à l'utilisation des mots « quantité », « quantité de matière » et « masse », puis nous avons proposé une piste pour aider les élèves à comprendre la nécessité d'utiliser la notion de quantité de matière pour raisonner. Quelles suites sont données à ces enseignements ?</p> <p>En classe de seconde, la quantité de matière est définie. En première spécialité, un bilan de matière peut alors être réalisé à l'aide d'un outil : le tableau d'avancement. Dans la suite de cette vidéo, nous allons discuter de l'intérêt et des limites d'utilisation de cet outil.</p> <p>Le tableau d'avancement permet d'évaluer la composition d'un système chimique. Mais qu'en est-il de son utilisation en classe ?</p>	<p>Nous venons de voir les difficultés associées à l'utilisation des mots « quantité », « quantité de matière » et « masse », puis nous avons proposé une piste pour aider les élèves à comprendre la nécessité d'utiliser la notion de quantité de matière pour raisonner. Quelles suites sont données à ces enseignements ?</p> <p>En classe de seconde, la quantité de matière est définie. En première spécialité, un bilan de matière peut alors être réalisé à l'aide d'un outil : le tableau d'avancement. Dans la suite de cette vidéo, nous allons discuter de l'intérêt et des limites d'utilisation de cet outil.</p> <p>Le tableau d'avancement permet d'évaluer la composition d'un système chimique. Mais qu'en est-il de son utilisation en classe ?</p>																																																																																																					
<p><b>Quantité de matière et avancement</b></p> <p>Introduction</p> <p>1- Le mot « quantité »</p> <p>2- La quantité de matière... pourquoi ?</p> <p><b>→ 3- Le tableau d'avancement</b></p> <p>4- Le diagramme en bâtons</p> <p>Conclusion</p>	<h3 style="text-align: center;">Le tableau d'avancement</h3> <div style="text-align: right; margin-bottom: 10px;"> </div> <div style="margin-bottom: 10px;"> <table border="1" style="font-size: 8px; border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr> <td>Equation</td> <td><math>Fe^{2+}_{(aq)}</math></td> <td>+</td> <td><math>H_2L_{(aq)}</math></td> <td><math>\rightleftharpoons</math></td> <td><math>FeL^+_{(aq)}</math></td> <td>+</td> <td><math>H^+_{(aq)}</math></td> </tr> <tr> <td>Etat initial</td> <td><math>C_0 \times V_0</math></td> <td></td> <td><math>C_1 \times V_1</math></td> <td></td> <td>0</td> <td></td> <td><math>n(H^+)</math></td> </tr> <tr> <td>Etat d'équilibre</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>constante</td> </tr> </table> <p>Extrait du bac Asie2023J1</p> </div> <div style="margin-bottom: 10px;"> <table border="1" style="font-size: 8px; border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr> <td colspan="2">Equation</td> <td colspan="5"><math>C_2H_5COOH + CH_3OH \rightleftharpoons C_2H_5COOCH_3 + H_2O</math></td> </tr> <tr> <td>Etat du système</td> <td>Avancement</td> <td><math>C_2H_5COOH</math></td> <td><math>CH_3OH</math></td> <td><math>C_2H_5COOCH_3</math></td> <td><math>H_2O</math></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Etat initial</td> <td>0</td> <td><math>n = 0,20 \text{ mol}</math></td> <td><math>n</math></td> <td>0</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Excès de transformation</td> <td><math>x</math></td> <td><math>n - x</math></td> <td><math>n - x</math></td> <td><math>x</math></td> <td><math>x</math></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Etat final</td> <td><math>x_{eq}</math></td> <td><math>n - x_{eq}</math></td> <td><math>n - x_{eq}</math></td> <td><math>x_{eq}</math></td> <td><math>x_{eq}</math></td> <td></td> </tr> </table> <p>D'après bac Polynésie2004</p> </div> <div> <table border="1" style="font-size: 8px; border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="5"><math>C_2H_5COOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons C_2H_5COO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}</math></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Avancement</td> <td colspan="5">Quantités de matière</td> </tr> <tr> <td>Etat initial</td> <td><math>x = 0</math></td> <td><math>n_1</math></td> <td>excès</td> <td>0</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Etat intermédiaire</td> <td><math>x</math></td> <td><math>n_1 - x</math></td> <td>excès</td> <td><math>x</math></td> <td><math>x</math></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Etat final si réaction totale</td> <td><math>x = x_{max}</math></td> <td><math>n_1 - x_{max}</math></td> <td>excès</td> <td><math>x_{max}</math></td> <td><math>x_{max}</math></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Etat final observé</td> <td><math>x = x_1</math></td> <td><math>n_1 - x_1</math></td> <td>excès</td> <td><math>x_1</math></td> <td><math>x_1</math></td> <td></td> </tr> </table> <p>Extrait du bac Polynésie2023</p> </div>	Equation	$Fe^{2+}_{(aq)}$	+	$H_2L_{(aq)}$	$\rightleftharpoons$	$FeL^+_{(aq)}$	+	$H^+_{(aq)}$	Etat initial	$C_0 \times V_0$		$C_1 \times V_1$		0		$n(H^+)$	Etat d'équilibre							constante	Equation		$C_2H_5COOH + CH_3OH \rightleftharpoons C_2H_5COOCH_3 + H_2O$					Etat du système	Avancement	$C_2H_5COOH$	$CH_3OH$	$C_2H_5COOCH_3$	$H_2O$		Etat initial	0	$n = 0,20 \text{ mol}$	$n$	0	0		Excès de transformation	$x$	$n - x$	$n - x$	$x$	$x$		Etat final	$x_{eq}$	$n - x_{eq}$	$n - x_{eq}$	$x_{eq}$	$x_{eq}$				$C_2H_5COOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons C_2H_5COO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$						Avancement	Quantités de matière					Etat initial	$x = 0$	$n_1$	excès	0	0		Etat intermédiaire	$x$	$n_1 - x$	excès	$x$	$x$		Etat final si réaction totale	$x = x_{max}$	$n_1 - x_{max}$	excès	$x_{max}$	$x_{max}$		Etat final observé	$x = x_1$	$n_1 - x_1$	excès	$x_1$	$x_1$		<p>Commençons par souligner qu'il n'y a pas de format normalisé du tableau d'avancement, mais qu'il convient de lui donner un format adapté à nos besoins.</p> <p>Pour tous ces tableaux, la notion d'avancement est centrale.</p>
Equation	$Fe^{2+}_{(aq)}$	+	$H_2L_{(aq)}$	$\rightleftharpoons$	$FeL^+_{(aq)}$	+	$H^+_{(aq)}$																																																																																																
Etat initial	$C_0 \times V_0$		$C_1 \times V_1$		0		$n(H^+)$																																																																																																
Etat d'équilibre							constante																																																																																																
Equation		$C_2H_5COOH + CH_3OH \rightleftharpoons C_2H_5COOCH_3 + H_2O$																																																																																																					
Etat du système	Avancement	$C_2H_5COOH$	$CH_3OH$	$C_2H_5COOCH_3$	$H_2O$																																																																																																		
Etat initial	0	$n = 0,20 \text{ mol}$	$n$	0	0																																																																																																		
Excès de transformation	$x$	$n - x$	$n - x$	$x$	$x$																																																																																																		
Etat final	$x_{eq}$	$n - x_{eq}$	$n - x_{eq}$	$x_{eq}$	$x_{eq}$																																																																																																		
		$C_2H_5COOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons C_2H_5COO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$																																																																																																					
	Avancement	Quantités de matière																																																																																																					
Etat initial	$x = 0$	$n_1$	excès	0	0																																																																																																		
Etat intermédiaire	$x$	$n_1 - x$	excès	$x$	$x$																																																																																																		
Etat final si réaction totale	$x = x_{max}$	$n_1 - x_{max}$	excès	$x_{max}$	$x_{max}$																																																																																																		
Etat final observé	$x = x_1$	$n_1 - x_1$	excès	$x_1$	$x_1$																																																																																																		

## Conducteur vidéo de la capsule 2 sur la transformation chimique – Quantité de matière et avancement

**Quantité de matière et avancement**

Introduction

1- Le mot « quantité »

2- La quantité de matière... pourquoi ?

→ 3- **Le tableau d'avancement**

4- Le diagramme en bâtons

Conclusion

### Le tableau d'avancement



		Quantités de matière			
Avancement		n <sub>R</sub>	n <sub>P</sub>	n <sub>R</sub>	n <sub>P</sub>
État initial	x = 0	n <sub>R</sub>	0	0	0
État intermédiaire	x	n <sub>R</sub> - x	0	x	x
État final ou réaction totale	x = n <sub>R</sub>	0	n <sub>P</sub>	n <sub>R</sub>	n <sub>P</sub>
État final observé	x = n <sub>R</sub>	0	n <sub>P</sub>	n <sub>R</sub>	n <sub>P</sub>

Extrait du bac Polynésie 2023

**AVANCEMENT**

~~↓~~  

vitesse

~~↓~~  

cinétique chimique

~~↓~~  

vitesse de disparition d'un réactif

### FOCUS DIDACTIQUE

Attention : le terme "avancement" peut apparaître pour l'élève comme une notion de vitesse du fait de la racine du mot "avancer". Or l'avancement ne porte aucune information sur la cinétique chimique et ne doit pas être confondu avec la vitesse de disparition d'un réactif, ou d'apparition d'un produit. Il faut éviter les formulations du type « au bout d'une certaine durée, la quantité de matière vaut... » et préférer des formulations du type « pour un avancement x, la quantité de matière vaut... ».

**Quantité de matière et avancement**

Introduction

1- Le mot « quantité »

2- La quantité de matière... pourquoi ?

→ 3- **Le tableau d'avancement**

4- Le diagramme en bâtons

Conclusion

### Le tableau d'avancement



Équation de réaction		$\boxed{1}CH_4(g) + \boxed{2}O_2(g) \rightarrow \boxed{1}CO_2(g) + \boxed{2}H_2O(g)$			
État du système	Avancement (en mol)	Quantités de matière (en mol)			
État initial	x = 0	1,0	1,5	0	0
État intermédiaire	x	1,0 - $\boxed{x}$	1,5 - $\boxed{2x}$	0 + x	0 + 2x
État final	x <sub>f</sub>	1,0 - x <sub>f</sub>	1,5 - $\boxed{2x_f}$	0 + x <sub>f</sub>	0 + 2x <sub>f</sub>

→ **Composition initiale du système**

→ Les quantités de réactif diminuent.

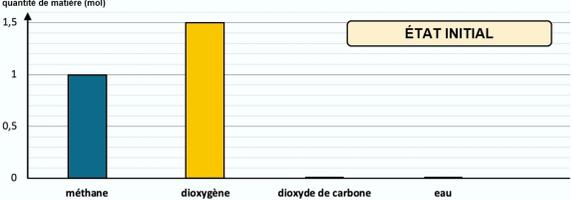
→ Les quantités des produits augmentent.

→ Stœchiométrie de la réaction

Un tableau d'avancement est un outil très riche en informations, puisqu'il :

- renseigne sur la composition initiale du système chimique, sa composition finale ;
- permet d'illustrer que les quantités de matière de réactif diminuent (signe "-"), que celles des produits augmentent (signe "+") le plus souvent caché mais bien présent) ;
- montre enfin que les quantités de matière de réactifs qui disparaissent, ou celles de produits qui apparaissent ne sont pas forcément les mêmes. Dans l'exemple choisi, lorsque "x" mol de méthane ont disparu, "2x" mol de dioxygène ont été détruits et ce, en accord avec les nombres stœchiométriques de l'équation de réaction.

## Conducteur vidéo de la capsule 2 sur la transformation chimique – Quantité de matière et avancement

<p><b>Quantité de matière et avancement</b></p> <p>Introduction</p> <p>1- Le mot « quantité »</p> <p>2- La quantité de matière... pourquoi ?</p> <p>→ 3- <b>Le tableau d'avancement</b></p> <p>4- Le diagramme en bâtons</p> <p>Conclusion</p>	<p><b>Le tableau d'avancement</b></p>  <p>Équation de réaction : <math>CH_4(g) + 2 O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2 H_2O(g)</math></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>État du système</th> <th>Avancement (en mol)</th> <th colspan="4">Quantité de matière (en mol)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>État initial</td> <td><math>x = 0</math></td> <td>1,0</td> <td>1,5</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>État intermédiaire</td> <td><math>x</math></td> <td><math>1,0 - x</math></td> <td><math>1,5 - 2x</math></td> <td><math>x</math></td> <td><math>2x</math></td> </tr> <tr> <td>État final</td> <td><math>x_f</math></td> <td><math>1,0 - x_f</math></td> <td><math>1,5 - 2x_f</math></td> <td><math>x_f</math></td> <td><math>2x_f</math></td> </tr> </tbody> </table>	État du système	Avancement (en mol)	Quantité de matière (en mol)				État initial	$x = 0$	1,0	1,5	0	0	État intermédiaire	$x$	$1,0 - x$	$1,5 - 2x$	$x$	$2x$	État final	$x_f$	$1,0 - x_f$	$1,5 - 2x_f$	$x_f$	$2x_f$	<p>Cependant, vous avez sans doute remarqué que les élèves sont souvent capables de remplir le tableau de manière automatique, sans malheureusement comprendre ce qu'il représente et sans donner de sens aux données qui y figurent.</p> <p>Un outil utile qu'il est possible d'utiliser en complément, pour une meilleure compréhension, est le diagramme en bâtons, aussi appelé parfois diagramme à barres ou histogramme.</p>
État du système	Avancement (en mol)	Quantité de matière (en mol)																								
État initial	$x = 0$	1,0	1,5	0	0																					
État intermédiaire	$x$	$1,0 - x$	$1,5 - 2x$	$x$	$2x$																					
État final	$x_f$	$1,0 - x_f$	$1,5 - 2x_f$	$x_f$	$2x_f$																					
<p><b>Quantité de matière et avancement</b></p> <p>Introduction</p> <p>1- Le mot « quantité »</p> <p>2- La quantité de matière... pourquoi ?</p> <p>3- Le tableau d'avancement</p> <p>→ 4- <b>Le diagramme en bâtons</b></p> <p>Conclusion</p>	<p><b>Le diagramme en bâtons</b></p>  <p><math>CH_4(g) + 2 O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2 H_2O(g)</math></p> <p>quantité de matière (mol)</p> 	<p>Afin d'illustrer son utilisation, nous vous le présentons dans le cadre de la combustion complète du méthane. Le diagramme fait apparaître les quantités de matière des différentes espèces chimiques pour un avancement donné.</p> <p>Nous vous conseillons, afin de minimiser la charge cognitive des élèves, de leur fournir directement des quantités de matière initiales, plutôt que les masses des réactifs pour caractériser l'état initial du système.</p>																								

## Conducteur vidéo de la capsule 2 sur la transformation chimique – Quantité de matière et avancement

<p>Quantité de matière et avancement</p> <p>Introduction</p> <p>1- Le mot « quantité »</p> <p>2- La quantité de matière... pourquoi ?</p> <p>3- Le tableau d'avancement</p> <p>→ 4- Le diagramme en bâtons</p> <p>Conclusion</p>	<p><b>Le diagramme en bâtons</b></p> <p><math>\text{CH}_4(g) + 2 \text{O}_2(g) \rightarrow \text{CO}_2(g) + 2 \text{H}_2\text{O}(g)</math></p> <p>quantité de matière (mol)</p> <p>AVANCEMENT <math>x = 0,2 \text{ mol}</math></p> <p>méthane    dioxygène    dioxyde de carbone    eau</p> <p>FOCUS DIDACTIQUE</p> <p>0,5 0,4 0,3 0,2 0,1 0</p> <p><math>-x</math>    <math>-2x</math>    <math>+x</math>    <math>+2x</math></p>	<p>Pour un avancement de 0,2 mol, on constate que les quantités de matière de chacun des réactifs ont diminué et que celles des produits ont augmenté.</p> <p>On peut aussi faire apparaître très clairement les diminutions et augmentations constatées par rapport à l'état initial, ce que montre le tableau d'avancement, mais de façon moins visuelle.</p> <p><b>FOCUS DIDACTIQUE :</b></p> <p>Attention, une autre difficulté des élèves est le sens à donner aux nombres stœchiométriques. Cette notion peut être clairement mise en évidence à l'aide des diagrammes en bâtons. Dans notre exemple, on peut faire remarquer à l'élève que les quantités de matière consommées en réactifs et formées en produits respectent les proportions dictées par la stœchiométrie de la réaction. Ici la flèche jaune est deux fois plus grande que la flèche bleue, en accord avec les nombres stœchiométriques "2" pour le dioxygène et "1" pour le méthane.</p>
<p>Quantité de matière et avancement</p> <p>Introduction</p> <p>1- Le mot « quantité »</p> <p>2- La quantité de matière... pourquoi ?</p> <p>3- Le tableau d'avancement</p> <p>→ 4- Le diagramme en bâtons</p> <p>Conclusion</p>	<p><b>Le diagramme en bâtons</b></p> <p><math>\text{CH}_4(g) + 2 \text{O}_2(g) \rightarrow \text{CO}_2(g) + 2 \text{H}_2\text{O}(g)</math></p> <p>quantité de matière (mol)</p> <p>AVANCEMENT <math>x = 0,5 \text{ mol}</math></p> <p>méthane    dioxygène    dioxyde de carbone    eau</p> <p><math>-x</math>    <math>-2x</math>    <math>+x</math>    <math>+2x</math></p>	<p>Pour un avancement de 0,5 mol, il est facile de confirmer que la taille des flèches est en encore en accord avec les proportions stœchiométriques.</p>

## Conducteur vidéo de la capsule 2 sur la transformation chimique – Quantité de matière et avancement

**Quantité de matière et avancement**

Introduction

- 1- Le mot « quantité »
- 2- La quantité de matière... pourquoi ?
- 3- Le tableau d'avancement
- ➔ 4- Le diagramme en bâtons

Conclusion

### Le diagramme en bâtons

$$\text{CH}_4(g) + 2 \text{O}_2(g) \rightarrow \text{CO}_2(g) + 2 \text{H}_2\text{O}(g)$$

quantité de matière (mol)

AVANCEMENT  $x_f = 0,75 \text{ mol}$   
COMPOSITION FINALE DU SYSTÈME

### FOCUS DIDACTIQUE :

Un autre point mérite votre vigilance. Il n'est pas rare que les élèves pensent que le réactif limitant est l'espèce correspondant à la plus petite quantité initiale. Dans l'exemple choisi, le diagramme en bâtons permet de comprendre plus aisément que ce n'est pas toujours le cas : en effet, bien que la quantité initiale de dioxygène soit plus grande que celle de méthane, il est le réactif limitant car la réaction en consomme deux fois plus.

**Quantité de matière et avancement**

Introduction

- 1- Le mot « quantité »
- 2- La quantité de matière... pourquoi ?
- 3- Le tableau d'avancement
- ➔ 4- Le diagramme en bâtons

Conclusion

### Le diagramme en bâtons

$$\text{CH}_4(g) + 2 \text{O}_2(g) \rightarrow \text{CO}_2(g) + 2 \text{H}_2\text{O}(g)$$

quantité de matière (mol)

attendu pour être dans les proportions stœchiométriques

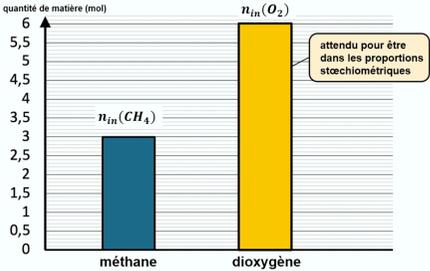
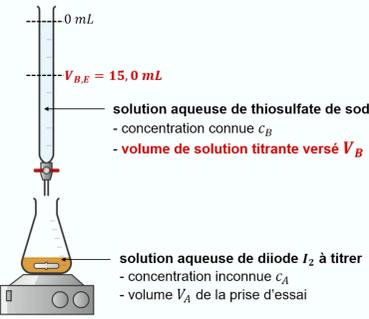
Proportions stœchiométriques ?

Il faudrait donc qu'il y en ait exactement 2 moles initialement pour être dans les proportions stœchiométriques, proportions telles qu'il ne reste plus aucun des réactifs dans l'état final.

### FOCUS DIDACTIQUE :

L'intérêt d'un point de vue didactique est de déconstruire l'idée de certains élèves, qui est de définir les proportions stœchiométriques comme des quantités de matière initiales des réactifs forcément égales.

## Conducteur vidéo de la capsule 2 sur la transformation chimique – Quantité de matière et avancement

<p><b>Quantité de matière et avancement</b></p> <p>Introduction</p> <p>1- Le mot « quantité »</p> <p>2- La quantité de matière... pourquoi ?</p> <p>3- Le tableau d'avancement</p> <p>→ 4- <b>Le diagramme en bâtons</b></p> <p>Conclusion</p>	<p><b>Le diagramme en bâtons</b></p> <p><math>\text{CH}_4(g) + 2 \text{O}_2(g) \rightarrow \text{CO}_2(g) + 2 \text{H}_2\text{O}(g)</math></p>  <p>Quelles quantités pour être dans les proportions stœchiométriques ?</p>	<p>De la même manière, il est possible de prévoir les quantités de réactifs à mettre en œuvre pour respecter les proportions stœchiométriques dans n'importe quelle situation. Le diagramme en bâtons permet de visualiser aisément qu'en utilisant initialement 3 moles de méthane, il faut faire réagir 6 moles de dioxygène pour travailler dans les proportions stœchiométriques, puisque l'équation de réaction prévoit qu'il faut deux fois plus de dioxygène que de méthane, pour respecter ces proportions.</p>
<p><b>Quantité de matière et avancement</b></p> <p>Introduction</p> <p>1- Le mot « quantité »</p> <p>2- La quantité de matière... pourquoi ?</p> <p>3- Le tableau d'avancement</p> <p>→ 4- <b>Le diagramme en bâtons</b></p> <p>Conclusion</p>	<p><b>Le diagramme en bâtons</b></p>  <p>0 mL</p> <p><math>V_{B,E} = 15,0 \text{ mL}</math></p> <p>solution aqueuse de thiosulfate de sodium (<math>\text{S}_2\text{O}_3^{2-}; 2\text{Na}^+</math>)          - concentration connue <math>c_B</math>          - volume de solution titrante versé <math>V_B</math></p> <p>Titrage colorimétrique du diiode</p> <p>solution aqueuse de diiode <math>\text{I}_2</math> à titrer          - concentration inconnue <math>c_A</math>          - volume <math>V_A</math> de la prise d'essai</p> <p>Équation de réaction : <math>\text{I}_2(aq) + 2 \text{S}_2\text{O}_3^{2-}(aq) \rightarrow 2 \text{I}^-(aq) + \text{S}_4\text{O}_6^{2-}(aq)</math></p>	<p>Cette stratégie s'avère particulièrement efficace lorsqu'on souhaite faire établir aux élèves les relations entre quantités de matière à l'équivalence d'un titrage. Pour fixer les idées, prenons l'exemple du titrage d'une solution de diiode par une solution de thiosulfate de sodium. Dans l'exemple choisi, le volume à l'équivalence vaut 15,0 mL.</p>

# Conducteur vidéo de la capsule 2 sur la transformation chimique – Quantité de matière et avancement

**Quantité de matière et avancement**

Introduction

1- Le mol « quantité »

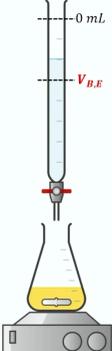
2- La quantité de matière... pourquoi ?

3- Le tableau d'avancement

**➔ 4- Le diagramme en bâtons**

Conclusion

## Le diagramme en bâtons



**AVANT l'équivalence :**  
Volume  $V_B$  de solution titrante versé, avec  $0 < V_B < V_{B,E}$

État du système	Avancement (en mol)	Quantités de matière (en mol)			
		$I_2$	$S_2O_3^{2-}$	$I^-$	$S_4O_6^{2-}$
Initial	$x = 0$	$n_A = c_A V_A$	$n_B = c_B V_B$	0	0
Intermédiaire	$x$	$n_A - x$	$n_B - 2x$	$2x$	$x$
final	$x_{max}$	$n_A - x_{max}$	$n_B - 2x_{max} = 0$	$2x_{max}$	$x_{max}$

↓

Les ions thiosulfate sont limitants.

**Quantité de matière et avancement**

Introduction

1- Le mol « quantité »

2- La quantité de matière... pourquoi ?

3- Le tableau d'avancement

**➔ 4- Le diagramme en bâtons**

Conclusion

**Quantité de matière et avancement**

Introduction

1- Le mol « quantité »

2- La quantité de matière... pourquoi ?

3- Le tableau d'avancement

**➔ 4- Le diagramme en bâtons**

Conclusion

## Le diagramme en bâtons



**À l'équivalence :**  
Volume  $V_B$  de solution titrante versé :  $V_B = V_{B,E}$

État du système	Avancement (en mol)	Quantités de matière (en mol)			
		$I_2$	$S_2O_3^{2-}$	$I^-$	$S_4O_6^{2-}$
Initial	$x = 0$	$n_A = c_A V_A$	$n_B = c_B V_B$	0	0
Intermédiaire	$x$	$n_A - x$	$n_B - 2x$	$2x$	$x$
final	$x_{max}$	$n_A - x_{max} = 0$	$n_B - 2x_{max} = 0$	$2x_{max}$	$x_{max}$

↓

Les réactifs sont introduits dans les proportions stœchiométriques.

**Quantité de matière et avancement**

Introduction

1- Le mol « quantité »

2- La quantité de matière... pourquoi ?

3- Le tableau d'avancement

**➔ 4- Le diagramme en bâtons**

Conclusion

**Quantité de matière et avancement**

Introduction

1- Le mol « quantité »

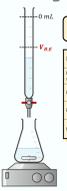
2- La quantité de matière... pourquoi ?

3- Le tableau d'avancement

**➔ 4- Le diagramme en bâtons**

Conclusion

## Le diagramme en bâtons



**APRÈS l'équivalence :**  
Volume  $V_B$  de solution titrante versé :  $V_B > V_{B,E}$

État du système	Avancement (en mol)	Quantités de matière (en mol)			
		$I_2$	$S_2O_3^{2-}$	$I^-$	$S_4O_6^{2-}$
Initial	$x = 0$	$n_A = c_A V_A$	$n_B = c_B V_B$	0	0
Intermédiaire	$x$	$n_A - x$	$n_B - 2x$	$2x$	$x$
final	$x_{max}$	$n_A - x_{max} = 0$	$n_B - 2x_{max} = 0$	$2x_{max}$	$x_{max}$

↓

Le diode est limitant.

**Quantité de matière et avancement**

Introduction

1- Le mol « quantité »

2- La quantité de matière... pourquoi ?

3- Le tableau d'avancement

**➔ 4- Le diagramme en bâtons**

Conclusion

Pour cette situation, raisonner avec un tableau d'avancement s'avère délicat. À chaque ajout de solution titrante réalisé à la burette correspond un état initial du système chimique différent du précédent. Il y a donc autant de tableaux d'avancement différents que d'ajouts, suivant que l'on se place avant l'équivalence, à l'équivalence, ou après l'équivalence.

## Conducteur vidéo de la capsule 2 sur la transformation chimique – Quantité de matière et avancement

**Quantité de matière et avancement**

Introduction

1- Le mot « quantité »

2- La quantité de matière... pourquoi ?

3- Le tableau d'avancement

➔ 4- Le diagramme en bâtons

Conclusion

### Le diagramme en bâtons

À l'équivalence :  
Volume  $V_B$  de solution titrante versé :  $V_B = V_{B,E}$

État du système	Avancement (en mol)	Quantités de matière (en mol)			
		$I_2$	$S_2O_3^{2-}$	$I^-$	$S_4O_6^{2-}$
Initial	$x = 0$	$n_A = c_A V_A$	$n_{B,E} = c_B V_{B,E}$	0	0
Intermédiaire	$x$	$n_A - x$	$n_{B,E} - 2x$	$2x$	$x$
final	$x_{max}$	$n_A - x_{max} = 0$	$n_{B,E} - 2x_{max} = 0$	$2x_{max}$	$x_{max}$

À l'équivalence du titrage, les réactifs sont introduits dans les proportions stœchiométriques. Donc :

$$x_{max} = n_A = \frac{n_{B,E}}{2}$$

Bien sûr, seul le tableau d'avancement associé à l'ajout du volume équivalent est à tracer, en vue d'établir la relation entre les quantités de matière de réactifs introduits à l'équivalence. Mais faire compléter ce tableau par les élèves peut s'avérer chronophage.

**Quantité de matière et avancement**

Introduction

1- Le mot « quantité »

2- La quantité de matière... pourquoi ?

3- Le tableau d'avancement

➔ 4- Le diagramme en bâtons

Conclusion

### Le diagramme en bâtons

$I_2(aq) + 2 S_2O_3^{2-}(aq) \rightarrow 2 I^-(aq) + S_4O_6^{2-}(aq)$

Quantités de matière à mettre en œuvre pour travailler dans les proportions stœchiométriques :

$$2 \times n_A = n_{B,E}$$

ou :

$$n_A = \frac{n_{B,E}}{2}$$

À l'inverse, le diagramme en bâtons permet de visualiser rapidement les quantités initiales à mettre en œuvre. Dans l'exemple choisi, la stœchiométrie de la réaction impose qu'il faut initialement deux fois plus d'ions thiosulfate ajoutés que de diiode dans la prise d'essai ce qui donne immédiatement la relation  $2 \times n_A = n_{B,E}$ .

## Conducteur vidéo de la capsule 2 sur la transformation chimique – Quantité de matière et avancement

**Quantité de matière et avancement**

Introduction

1- Le mot « quantité »

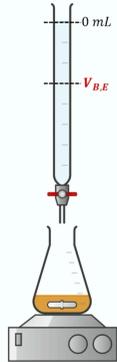
2- La quantité de matière... pourquoi ?

3- Le tableau d'avancement

**→ 4- Le diagramme en bâtons**

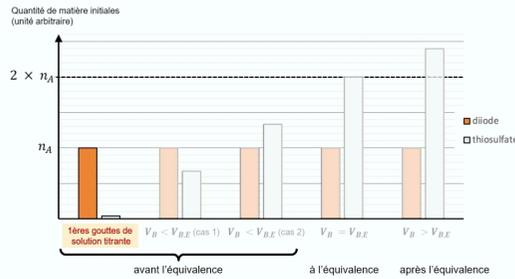
Conclusion

### Le diagramme en bâtons



$I_2(aq) + 2 S_2O_3^{2-}(aq) \rightarrow 2 I^-(aq) + S_4O_6^{2-}(aq)$

Quantité de matière initiales (unité arbitraire)



Quantité de matière initiales (unité arbitraire)

2 × n<sub>A</sub>

n<sub>A</sub>

■ diiode  
■ thiosulfate

Trois gouttes de solution titrante

avant l'équivalence      à l'équivalence      après l'équivalence

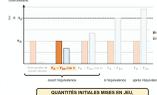
V<sub>B</sub> < V<sub>B,E</sub> (cas 1)    V<sub>B</sub> < V<sub>B,E</sub> (cas 2)    V<sub>B</sub> = V<sub>B,E</sub>    V<sub>B</sub> > V<sub>B,E</sub>

**QUANTITÉS INITIALES MISES EN JEU, SUIVANT L'AJOUT DE SOLUTION TITRANTE**

On peut en outre comparer facilement les quantités initiales de réactifs mises en jeu pour chaque volume V<sub>B</sub> de solution titrante ajoutée et interpréter ainsi la couleur de la solution dans l'erenmeyer.

**Le diagramme en bâtons**

$I_2(aq) + 2 S_2O_3^{2-}(aq) \rightarrow 2 I^-(aq) + S_4O_6^{2-}(aq)$

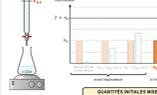


avant l'équivalence

**QUANTITÉS INITIALES MISES EN JEU, SUIVANT L'AJOUT DE SOLUTION TITRANTE**

**Le diagramme en bâtons**

$I_2(aq) + 2 S_2O_3^{2-}(aq) \rightarrow 2 I^-(aq) + S_4O_6^{2-}(aq)$

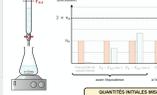


avant l'équivalence

**QUANTITÉS INITIALES MISES EN JEU, SUIVANT L'AJOUT DE SOLUTION TITRANTE**

**Le diagramme en bâtons**

$I_2(aq) + 2 S_2O_3^{2-}(aq) \rightarrow 2 I^-(aq) + S_4O_6^{2-}(aq)$



à l'équivalence

**QUANTITÉS INITIALES MISES EN JEU, SUIVANT L'AJOUT DE SOLUTION TITRANTE**

## Conducteur vidéo de la capsule 2 sur la transformation chimique – Quantité de matière et avancement

<p><b>Quantité de matière et avancement</b></p> <p>Introduction</p> <p>1- Le mot « quantité »</p> <p>2- La quantité de matière... pourquoi ?</p> <p>3- Le tableau d'avancement</p> <p>4- Le diagramme en bâtons</p> <p>→ <b>Conclusion</b></p>	<h3>Conclusion</h3>		<p>Au cours de cette vidéo, dans le cadre de l'étude des transformations chimiques, nous avons montré les difficultés liées à l'utilisation des mots "quantité" et "avancement de réaction".</p> <p>Au lycée, la description d'un système chimique et son évolution reposent sur un bilan de matière souvent réalisé à l'aide du tableau d'avancement que les élèves remplissent et utilisent parfois de façon automatique.</p> <p>Certaines situations peuvent donc être traitées sans y recourir, comme l'ors d'un titrage ou lors du calcul d'un rendement de synthèse.</p> <p>L'utilisation d'un diagramme en bâtons peut permettre de s'approprier davantage cet outil et de donner du sens aux nombres stœchiométriques ainsi qu'à la notion de réactif limitant.</p> <p>Nous avons abordé la notion d'avancement maximal dans le cas des transformations chimiques totales. Qu'en est-il des transformations chimiques non-totales ? Quelle est la différence entre avancement maximal et avancement final ? Tout cela sera étudié dans l'épisode 3 de cette série de vidéos dédiées à l'étude des transformations chimiques.</p>
<h1>CRÉDITS</h1> <p>Scénarisation, conception, production, montage Colas ANSELME, enseignant de physique-chimie, CMI Elisabeth BRIET, enseignante de physique-chimie Aurélie LAMY, enseignante de physique-chimie Julien LUIS, enseignant de physique-chimie</p> <p>Pilotage de la production Inspection de physique-chimie des académies de Créteil et Versailles</p> <p>Remerciements DANE des académies de Créteil et de Versailles</p> 			