



**MINISTÈRE  
DE L'ÉDUCATION  
NATIONALE,  
DE LA JEUNESSE  
ET DES SPORTS**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

## **Rapport du jury**

**CONCOURS : CAPES EXTERNE**

**SECTION : PHYSIQUE – CHIMIE**

**SESSION : 2021**

Rapport de jury présenté par : Christie AROULANDA,  
enseignant-chercheur de l'Université Paris-Saclay, présidente du jury.

## Table des matières

### Introduction

- 1. Textes de référence pour la préparation du concours et définition des épreuves écrites .....P.4**
- 2. Informations statistiques et analyse globale de la session 2021 ..... P.5**
  - 2.1. Composition du jury
  - 2.2. Statistiques et analyse globale des épreuves écrites
  - 2.3. Répartition femmes/hommes des candidats
  - 2.4. Moyenne et répartition d'âge des candidats
  - 2.5. Répartition des candidats en fonction de leur profession
  - 2.6. Répartition des candidats en fonction de leur académie d'origine
- 3. Résultats et rapports des deux épreuves écrites .....P.10**
  - 3.1. Résultats des deux épreuves écrites
  - 3.2. Rapport sur l'épreuve de composition
    - 3.2.1. Sujet de l'épreuve
    - 3.2.2. Remarques générales
    - 3.2.3. Rapport détaillé par question
    - 3.2.4. Conclusion
  - 3.3. Éléments de correction de l'épreuve de composition
  - 3.4. Rapport sur l'épreuve d'exploitation d'un dossier documentaire
    - 3.4.1. Sujet de l'épreuve
    - 3.4.2. Remarques générales
      - 3.4.2.1. Présentation et rédaction
      - 3.4.2.2. Constats généraux et recommandations
    - 3.4.3. Rapport détaillé par question
  - 3.5. Éléments de correction de l'épreuve d'exploitation d'un dossier documentaire
- 4. Résultats et rapports des deux épreuves orales .....P.47**
  - 4.1. Résultats des deux épreuves orales
  - 4.2. Conseils aux futurs candidats concernant les épreuves orales d'admission
  - 4.3. Rapport sur l'épreuve de mise en situation professionnelle à dominante chimie
    - 4.3.1. Organisation de la présentation
    - 4.3.2. Expérimentation
  - 4.4. Rapport sur l'épreuve d'analyse d'une situation professionnelle à dominante chimie
    - 4.4.1. Organisation de la présentation
    - 4.4.2. Aspects disciplinaires
  - 4.5. Rapport sur l'épreuve de mise en situation professionnelle à dominante physique
    - 4.5.1. Organisation de la présentation
    - 4.5.2. Expérimentation

4.6. Rapport sur l'épreuve d'analyse d'une situation professionnelle à dominante physique	
4.6.1. Organisation de la présentation	
4.6.2. Aspects disciplinaires	
4.7. Conclusion	
<b>5. À propos de la session 2022 .....</b>	<b>P.54</b>
5.1. Programme de la session 2022	
5.2. Épreuves d'admissibilité	
5.3. Épreuves d'admission	

## 1. Introduction

La session 2021 du CAPES et CAFEP de physique-chimie s'est déroulée selon le calendrier initialement prévu, en respectant les règles sanitaires imposées en raison de la pandémie. Les deux épreuves d'admissibilité, composition et exploitation d'un dossier documentaire ont eu lieu respectivement les 22 et 23 mars 2021. La session d'épreuves orales d'admission, épreuve d'analyse d'une situation professionnelle et épreuve de mise en situation professionnelle, se sont déroulées du 18 juin au 09 juillet 2021 à Lyon. Le jury tient à remercier les chefs d'établissement de la cité scolaire Saint-Exupéry et le lycée Lamartinière-Diderot ainsi que leurs équipes pour leur accueil. Le site internet d'information mis en place lors de la session 2020 reste ouvert et alimenté pour les sessions 2021 et futures<sup>[1]</sup>. Ce site a pour vocation de permettre aux candidats de retrouver facilement les informations réglementaires et utiles relatives aux concours du CAPES et du CAFEP de physique-chimie, et perdurera pour la session prochaine.

## 2. Textes de référence pour la préparation du concours et définition des épreuves écrites et orales

L'arrêté du 19 avril 2013 modifié par l'arrêté du 30 mars 2017 fixe les modalités d'organisation des concours du CAPES<sup>[2]</sup> de la session 2021. Les deux épreuves écrites, la composition (COMP) et l'exploitation d'un dossier documentaire (EXPLDOC), font appel à des compétences disciplinaires, pédagogiques et didactiques des candidats dans les deux valences du concours, physique et chimie. Les sujets des épreuves écrites de la session 2021 sont disponibles sur le site « devenir enseignant » du ministère de l'éducation nationale<sup>[3]</sup>. Chaque épreuve dure cinq heures. Les copies de chacune des deux épreuves sont évaluées sur 20 points et pondérées identiquement d'un coefficient 1 dans le calcul de la moyenne arithmétique<sup>[4]</sup> pour chaque candidat.

Deux épreuves orales constituent les épreuves d'admission prévues pour évaluer les candidats déclarés admissibles à l'issue des épreuves écrites. Un tirage au sort détermine la partie (physique ou chimie) du champ disciplinaire sur laquelle porte l'épreuve 1. L'épreuve 2 porte sur la partie (physique ou chimie) n'ayant pas fait l'objet de la première épreuve d'admission. Une des deux épreuves est l'épreuve de mise en situation professionnelle (MSP), tandis que l'autre épreuve est l'épreuve d'analyse d'une situation professionnelle (ASP). Les deux épreuves sont évaluées sur 20 points

---

<sup>1</sup> <http://www.capes-externe-physique-chimie.org/>

<sup>2</sup> <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000027361553&dateTexte=&categorieLien=id>  
<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000034519190&categorieLien=id>

<sup>3</sup> pour la composition :

[https://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/capes\\_externe/85/6/s2021\\_capes\\_externe\\_physique\\_chimie\\_1\\_1394856.pdf](https://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/capes_externe/85/6/s2021_capes_externe_physique_chimie_1_1394856.pdf)

pour l'exploitation d'un dossier documentaire :

[https://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/capes\\_externe/85/8/s2021\\_capes\\_externe\\_physique\\_chimie\\_2\\_1394858.pdf](https://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/capes_externe/85/8/s2021_capes_externe_physique_chimie_2_1394858.pdf)

<sup>4</sup> La moyenne arithmétique sera simplement dénommée « moyenne » dans tout le document.

et pondérées identiquement d'un coefficient 2 dans le calcul de la moyenne pour chaque candidat présent aux épreuves orales.

Au cours de l'épreuve de mise en situation professionnelle, le candidat élabore une séquence pédagogique à caractère expérimental sur un sujet proposé par le jury. Il met en œuvre des expériences de manière authentique, dans le respect des conditions de sécurité, et en effectue une exploitation pédagogique pour les classes de collège et de lycée. Une au moins de ces expériences doit être quantitative et une au moins doit utiliser les technologies de l'information et de la communication. L'entretien avec le jury lui permet de justifier ses choix didactiques et pédagogiques. La durée de la préparation de l'épreuve est de trois heures, et la durée de l'épreuve elle-même en face du jury est d'une heure (présentation : trente minutes au maximum ; entretien : trente minutes au maximum).

L'épreuve d'analyse d'une situation professionnelle prend appui sur un dossier fourni par le jury. Le dossier, constitué de documents scientifiques, didactiques, pédagogiques, d'extraits de manuels ou de productions d'élèves, permet de présenter une situation d'enseignement en collège ou en lycée. L'entretien avec le jury permet aussi d'évaluer la capacité du candidat à prendre en compte les acquis et les besoins des élèves, à se représenter la diversité des conditions d'exercice de son métier futur, à en connaître de façon réfléchie le contexte dans ses différentes dimensions (classe, équipe éducative, établissement, institution scolaire, société) et les valeurs qui le portent, dont celles de la République. La durée de la préparation de l'épreuve est de deux heures et la durée de l'épreuve elle-même en face du jury est d'une heure (exposé : trente minutes au maximum ; entretien : trente minutes au maximum).

Comme indiqué, les deux épreuves orales d'admission comportent un entretien avec le jury qui permet d'évaluer la capacité du candidat à s'exprimer avec clarté et précision, à réfléchir aux enjeux scientifiques et didactiques, que revêt l'enseignement du champ disciplinaire du concours, notamment dans son rapport avec les autres champs disciplinaires.

### **3. Informations statistiques et analyse globale de la session 2021**

#### **3.1. Composition du jury**

Le jury compte quarante-trois membres (trente-cinq femmes et quarante-huit hommes) et rassemble un inspecteur général de l'éducation, du sport et de la recherche, deux enseignants-chercheurs, trente-et-un inspecteurs territoriaux (IA-IPR), sept professeurs de chaire supérieure, trente-huit professeurs agrégés et quatre professeurs certifiés. Parmi ces membres, trois font partie de l'enseignement privé sous contrat. Toutes les régions académiques sont représentées au sein du jury.

#### **3.2. Statistiques et analyse globale des épreuves écrites**

Les principales informations statistiques de la session 2021, ainsi que les éléments de comparaison associés issus de la session 2020, figurent dans les tableaux 1 à 5. L'analyse de ces données est délicate en raison de la réadaptation des conditions des concours CAPES et CAFEP lors de la session 2020. Pour certaines

observables, il est également pertinent de se référer à la session 2019 : en effet, il s'agit de la session la plus récente et la plus similaire pour analyser les données des épreuves orales absentes lors de la session 2020. Certains indicateurs sont néanmoins significatifs. Ainsi, pour les deux concours, et de manière générale pour l'ensemble des concours de recrutement d'enseignement, une baisse significative des candidats inscrits est remarquée (respectivement -95 et -47 pour le CAPES et le CAFEP par rapport à la session 2020), malgré un nombre de postes offerts aux concours en hausse notable pour le CAPES (respectivement +36 et +30 par rapport aux deux sessions antérieures) et en légère baisse pour le CAFEP par rapport à la session 2020 retrouvant un nombre de postes similaire à celui de la session 2019 (respectivement -6 et +4). Cependant, la participation effective aux deux épreuves est restée sensiblement stable (respectivement 56,8 % et 51,8 % pour le CAPES et le CAFEP) aux deux concours par rapport à la session 2020. Ces données montrent également que les taux de pression et de sélectivité des deux concours, indicateurs de leur attractivité, sont en baisse par rapport à la session 2020 ; elles confortent une tendance observée *a minima* sur les trois dernières sessions sans préjuger néanmoins de la qualité des candidats ayant composé, et ceux *in fine* admis.

**Tableau 1** : données générales relatives à la session 2021.

	<b>CAPES</b>	<b>CAFEP</b>
<b>Nombre de postes mis au concours</b>	415 (379) <sup>a</sup> (385) <sup>b</sup>	74 (80) <sup>a</sup> (70) <sup>b</sup>
<b>Nombre de candidats inscrits</b>	1727 (1822) <sup>a</sup>	513 (560) <sup>a</sup>
<b>Nombre de candidats présents aux deux épreuves écrites, taux de participation</b>	981 ; 56,8% (1003 ; 55,1%) <sup>a</sup>	266 ; 51,8% (301 ; 53,7%) <sup>a</sup>
<b>Taux de pression<sup>c</sup></b>	4,2 (4,8) <sup>a</sup> (5,2) <sup>b</sup>	6,9 (7,0) <sup>a</sup> (8,7) <sup>b</sup>
<b>Taux de sélectivité<sup>c</sup></b>	2,4 (2,6) <sup>a</sup> (2,9) <sup>b</sup>	3,6 (3,8) <sup>a</sup> (4,7) <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Les valeurs entre parenthèses permettent d'apprécier les mêmes observables par rapport à la session 2020. <sup>b</sup> Les valeurs entre parenthèses permettent d'apprécier les mêmes observables lors de la session 2019. <sup>c</sup> Les taux de pression et de sélectivité sont définis respectivement comme le nombre de candidats inscrits rapporté au nombre de postes offerts au concours, et le nombre de candidats présents aux deux épreuves rapporté au nombre de postes offerts au concours.

Il convient également de rappeler que les coefficients des épreuves écrites, toutes deux identiques, sont affectées d'un poids inférieur (coefficient 1) aux épreuves orales (coefficient 2) dans le calcul final des moyennes d'admission (tableau 2). Il en résulte que les épreuves orales possèdent un poids important : il est recommandé aux candidats de les préparer tout aussi sérieusement et avec implication que les épreuves écrites, en s'entraînant notamment en situation la plus proche possible de celle du jour J.

La chimie comme la physique sont des disciplines dont le volet expérimental revêt un caractère primordial dans la compréhension des phénomènes et concepts scientifiques impliqués. Le niveau de maîtrise des compétences expérimentales des candidats a pu être évalué lors de cette session, notamment grâce à l'épreuve de MSP. De même, les qualités de communication, ainsi que les compétences pédagogiques et didactiques constituent des points de vigilance importants lors des évaluations des épreuves orales, sans toutefois être absents et non évalués dans le cadre des épreuves écrites.

À l'issue des évaluations des épreuves écrites et orales, le jury a décidé d'attribuer l'ensemble des postes offerts aux concours. Par ailleurs, pour le CAPES, une liste complémentaire a été établie. Le jury remercie tous les candidats, et notamment les candidats présents aux épreuves orales, pour leur sérieux et leur discipline dans la prise en compte des consignes de sécurité sanitaire strictes qui avaient été établies pendant le déroulement de ces épreuves orales, afin que celles-ci se déroule au mieux. Le jury félicite les candidats admis lors de cette session 2021 et encourage tous les autres à se mobiliser à nouveau, en s'appuyant notamment sur le rapport de jury pour mieux identifier et appréhender les difficultés rencontrées. En outre, le jury recommande aux candidats, en plus du travail régulier de fond d'acquisition et de consolidation des connaissances sur les phénomènes physiques et chimiques fondamentaux, de s'appuyer sur l'expérience pour les étayer et travailler les capacités expérimentales associées.

**Tableau 2 : résultats généraux relatifs à la session 2021**

	<b>CAPES</b>	<b>CAFEP</b>
<b>Moyenne obtenue par l'ensemble des candidats ayant composé (/20)</b>	9,51 (8,16) <sup>a</sup>	8,65 (7,42) <sup>a</sup>
Moyenne de l'épreuve COMP obtenue par l'ensemble des candidats ayant composé (/20)	10,05	8,86
Ecart-type de l'épreuve COMP obtenue par l'ensemble des candidats ayant composé (/20)	3,37	2,95
Moyenne de l'épreuve EXPLDOC obtenue par l'ensemble des candidats ayant composé (/20)	8,97	8,35
Ecart-type de l'épreuve EXPLDOC obtenue par l'ensemble des candidats ayant composé (/20)	2,98	2,69
<b>Nombre de candidats admissibles</b>	<b>771</b>	<b>172</b>
Moyenne de l'épreuve COMP obtenue par l'ensemble des candidats admissibles (/20)	11,18	10,42
Ecart-type de l'épreuve COMP obtenue par l'ensemble des candidats admissibles (/20)	2,85	2,37
Moyenne de l'épreuve EXPLDOC obtenue par l'ensemble des candidats admissibles (/20)	9,87	8,73
Ecart-type de l'épreuve EXPLDOC obtenue par l'ensemble des candidats admissibles (/20)	2,58	2,11
<b>Nombre de candidats admis en liste principale</b>	<b>415</b>	<b>74</b>
<b>Moyenne du dernier admissible (/20)</b>	<b>6,95</b>	<b>7,22</b>

<b>Moyenne du dernier admis en liste principale (/20)</b>	8,80	9,70
<b>Nombre de candidats en liste complémentaire</b>	1	0
<b>Moyenne du dernier candidat en liste complémentaire (/20)</b>	8,80	non défini

### 3.3. Répartition femmes/hommes des candidats

Les candidates représentent 37,1 % des inscrits au CAPES et 46,0 % au CAFEP. Elles représentent 37,8 % des candidats présents aux deux épreuves écrites du CAPES et 45,1 % pour le CAFEP. Enfin les candidates constituent respectivement 36,9 % et 48,7 % des admis aux concours CAPES et CAFEP.

Au CAPES, les proportions approximatives de 37 % de candidates pour 63 % des candidats parmi les présents aux deux épreuves orales sont conservées dans le groupe des admis en liste principale. Concernant le CAFEP, les proportions initiales approximatives de 45 % de candidates pour 55 % de candidats parmi les présents aux deux épreuves orales se transforment en 49 % de candidates et 51 % de candidats parmi les admis en liste principale.

Les données reportées dans le tableau 3 permettent d'apprécier, en nombre, la répartition hommes/femmes aux deux concours au cours de leurs différentes étapes.

**Tableau 3 : répartition femmes/hommes de la session 2021**

	<b>CAPES</b>				<b>Total</b>
	<b>Candidates</b>		<b>Candidats</b>		
	<b>Valeur</b>	<b>Différence/étape</b>	<b>Valeur</b>	<b>Différence/étape</b>	
<b>Inscrits</b>	641		1086		1727
<b>Présents aux deux épreuves écrites</b>	371	270	610	476	981
<b>Admissibles</b>	267	104	504	106	771
<b>Présents aux deux épreuves orales</b>	234	33	423	81	657
<b>Admis en liste principale</b>	153	81	262	161	<b>415</b>
<b>Admis en liste complémentaire</b>	0		1		1

	<b>CAFEP</b>				<b>Total</b>
	<b>Candidates</b>		<b>Candidats</b>		
	<b>Valeur</b>	<b>Différence/étape</b>	<b>Valeur</b>	<b>Différence/étape</b>	
<b>Inscrits</b>	236		277		513
<b>Présents aux deux épreuves écrites</b>	120	116	146	131	266
<b>Admissibles</b>	78	42	94	52	172
<b>Présents aux deux épreuves orales</b>	66	12	86	8	152



<b>Admis en liste principale</b>	36	30	38	48	<b>74</b>
<b>Admis en liste complémentaire</b>	0		0		0

### 3.4. Moyenne et répartition d'âge des candidats

Les années de naissance des candidates et candidats inscrits varient de 1956 à 2000 pour le CAPES (respectivement 1958 à 2000 pour le CAFEP), ceux présents aux deux épreuves écrites de 1959 à 2000 pour le CAPES (respectivement 1960 à 2000 pour le CAFEP), ceux admissibles de 1963 à 2000 pour le CAPES (respectivement 1965 à 2000 pour le CAFEP). Enfin, les candidates et candidats admis sont nés entre 1971 et 2000 (respectivement entre 1966 et 2000 pour le CAFEP).

L'âge moyen des candidats aux deux concours est reporté dans le tableau 4.

**Tableau 4 : âge moyen des candidats de la session 2021**

	<b>CAPES</b>	<b>CAFEP</b>
<b>Inscrits</b>	32,1	34,3
<b>Présents aux deux épreuves écrites</b>	29,4	33,5
<b>Admissibles</b>	28,4	32,3
<b>Présents aux deux épreuves orales</b>	28,1	32,2
<b>Admis en liste principale</b>	26,5	30,1

### 3.5. Répartition des candidats en fonction de leur profession

Concernant le concours du CAPES, les candidats présents aux épreuves d'admissibilité se déclarant étudiant en INSPÉ représentent environ 40,4 % des candidats et les enseignants contractuels du second degré représentent quant à eux près de 25,9 % des candidats.

Concernant le concours du CAFEP, les candidats présents aux épreuves d'admissibilité se déclarant étudiant en INSPÉ représentent environ 22,2 % des candidats, les enseignants contractuels du second degré représentent quant à eux près de 44,0 %.

### 3.6. Répartition des candidats en fonction de leur académie d'origine

La répartition géographique des candidats renseignée par leur inscription dans leur académie d'origine est reportée dans le tableau 5.

**Tableau 5 : répartition des candidats en fonction de leur académie d'origine**

<b>Acad.<sup>a</sup></b>	<b>CAFEP</b>			<b>CAPES</b>		
	<b>Ins.<sup>b</sup></b>	<b>Ads.<sup>c</sup></b>	<b>Adm.<sup>d</sup></b>	<b>Ins.<sup>b</sup></b>	<b>Ads.<sup>c</sup></b>	<b>Adm.<sup>d</sup></b>
Aix-Marseille	103	42	17	27	12	1
Besançon	18	7	5	3	1	1
Bordeaux	74	39	24	30	11	4
Caen	25	17	9	8	2	2
Clermont-Ferrand	31	15	8	10	3	0

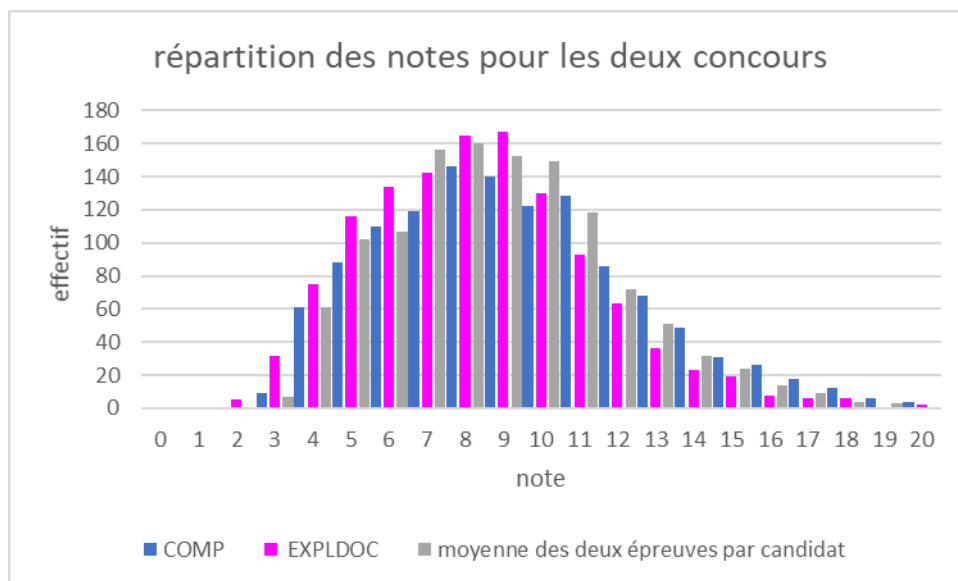
Dijon	30	18	10	3	0	0
Grenoble	62	26	10	16	5	3
Lille	113	59	26	33	12	5
Lyon	100	38	19	36	20	13
Montpellier	65	26	15	16	4	2
Nancy-Metz	35	23	17	11	2	1
Poitiers	32	12	7	5	4	2
Rennes	66	40	28	45	24	8
Strasbourg	69	30	18	21	6	5
Toulouse	79	44	28	23	9	3
Nantes	56	24	15	32	11	6
Orléans-Tours	68	38	20	16	5	2
Reims	23	14	8	8	0	0
Amiens	32	15	11	15	4	2
Rouen	46	24	13	16	11	5
Limoges	24	15	9	4	1	0
Nice	46	23	14	14	1	0
Corse	6	2	0	0	0	0
La Réunion	37	6	2	4	0	0
La Martinique	13	1	0	4	1	0
La Guadeloupe	33	8	2	3	0	0
La Guyane	8	2	1	1	0	0
La Nouvelle-Calédonie	14	4	2	1	0	0
La Polynésie Française	12	5	2	4	1	1
Mayotte	19	6	2	1	0	0
Paris-Créteil-Versailles	388	148	73	103	22	8

<sup>a</sup> Acad : Académie d'origine des candidats <sup>b</sup>Ins. : Inscrits. <sup>c</sup>Ads. : Admissibles. <sup>d</sup>Adm. : Admis en liste principale.

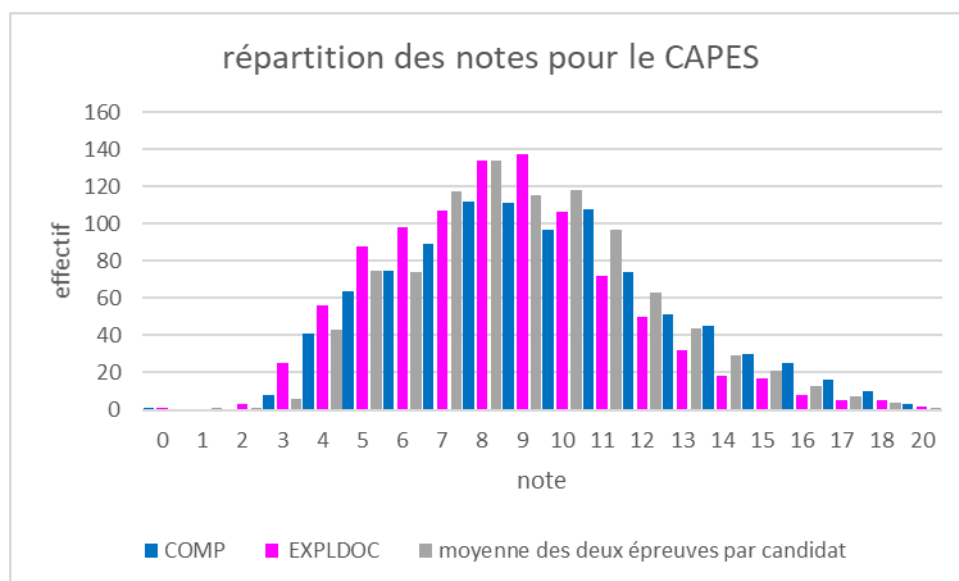
#### 4. Résultats et rapports des deux épreuves écrites

##### 4.1. Résultats des deux épreuves écrites

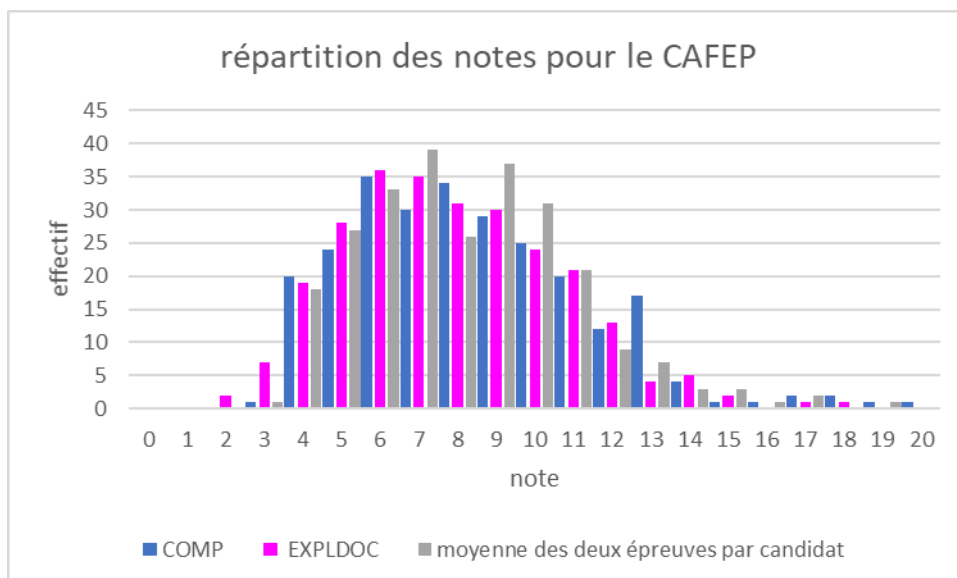
Les résultats par épreuve écrite sont présentés dans le tableau 6 et les figures 1, 2 et 3. Pour chacun des concours, et chaque épreuve, les notes attribuées vont de 0 à 20 points et sont réparties de manière satisfaisante à en juger les valeurs d'écart-type mesurant la dispersion des notes attribuées. Clairement les chances d'être admis augmentent lorsque les candidats présentent les notes les plus équilibrées dans les deux disciplines et élevées en valeur. Le jury tient à féliciter en particulier les candidats qui ont excellé dans l'une et/ou l'autre des épreuves écrites.



**Figure 1** : histogrammes des notes obtenues aux deux épreuves écrites pour l'ensemble des candidats. La répartition des notes de composition est représentée en bleu, celle des notes d'exploitation documentaire en magenta et celle des moyennes des deux épreuves par candidat en gris. L'indicateur « moyenne » désigne la moyenne arithmétique pondérée calculée par candidat.



**Figure 2** : histogrammes des notes obtenues aux deux épreuves écrites pour le CAPES. La répartition des notes de composition est représentée en bleu, celle des notes d'exploitation documentaire en magenta et celle des moyennes des deux épreuves par candidat en gris. L'indicateur « moyenne » désigne la moyenne arithmétique pondérée calculée par candidat.



**Figure 3** : histogrammes des notes obtenues aux deux épreuves écrites pour le CAFEP. La répartition des notes de composition est représentée en bleu, celle des notes d'exploitation documentaire en magenta et celle des moyennes des deux épreuves par candidat en gris. L'indicateur « moyenne » désigne la moyenne arithmétique pondérée calculée par candidat.

**Tableau 6** : résultats obtenus aux deux épreuves écrites

	Indicateurs	COMP	EXPLDOC	Moyenne des deux épreuves <sup>a</sup>
CAPES	Note minimale (/20)	0,00	0,00	3,03
	Note maximale (/20)	20,00	20,00	20,00
	Moyenne de l'épreuve (/20)	10,11	8,91	9,51
	Écart-type estimé	3,41	3,04	3,36
CAFEP	Note minimale (/20)	3,93	2,86	3,48
	Note maximale (/20)	20,00	18,25	19,13
	Moyenne de l'épreuve (/20)	8,95	8,35	8,65
	Écart-type estimé	3,07	2,82	5,48
CAPES & CAFEP	Note minimale (/20)	0,00	0,00	Non défini
	Note maximale (/20)	20,00	20,00	Non défini
	Moyenne de l'épreuve (/20)	9,86	8,79	Non défini
	Écart-type estimé	3,34	2,99	Non défini

<sup>a</sup> L'indicateur « moyenne » désigne la moyenne arithmétique pondérée calculée par candidat évaluée sur 20 points.

Ce rapport de jury est rédigé dans l'objectif premier d'aider les candidats à mieux s'appropriier les exigences des épreuves écrites et orales. Les candidats sont invités à lire ce document attentivement afin d'adapter leur travail régulier de préparation à ces concours. La dernière partie de ce rapport est plus spécifiquement tournée vers des conseils pour les épreuves de la session 2022. De la même façon, les candidats sont vivement invités à consulter les rapports des années précédentes disponibles sur le site <https://www.devenirenseignant.gouv.fr/>.

## **4.2. Rapport sur l'épreuve de composition**

### **4.2.1. Sujet de l'épreuve**

Le sujet comporte trois parties indépendantes autour de la thématique du sport. L'épreuve est construite avec un double objectif :

- s'assurer que le candidat possède des connaissances et des compétences disciplinaires compatibles avec la fonction de professeur dans le secondaire ;
- s'assurer que le candidat possède un premier niveau de maîtrise des procédés didactiques courants.

Le jury considère qu'un socle disciplinaire solide est indispensable à l'exercice du métier de professeur du secondaire.

Les questions pédagogiques sont abordées dans les trois parties du sujet. Le jury n'attend pas des candidats une expertise en pédagogie ou en didactique, mais simplement un premier niveau de connaissances montrant qu'un processus de formation sur ces questions a été entamé.

La première partie du sujet aborde l'étude de matériaux innovants pour la performance du sportif. Elle comporte six questions visant à évaluer les connaissances et les capacités des candidats à analyser des documents en rapport avec la structure des matériaux polymères. Une étude des propriétés du polymère est proposée ainsi qu'une analyse conformationnelle.

La deuxième partie du sujet traitant de l'alimentation du sportif, comporte quinze questions dont deux résolutions de problème. Cette partie aborde les domaines de la cinétique chimique *via* l'utilisation du modèle de Michaelis Menten, de la chimie organique autour des molécules de D-glucopyranose et D-glucose, ainsi que de la thermodynamique des processus biochimiques et la chimie des solutions.

La troisième partie du sujet a pour objectif l'étude d'un produit dopant, le salbutamol. Elle est constituée de neuf questions dont une résolution de problème axée sur le dosage spectrophotométrique du salbutamol. Des notions de spectroscopie, de mécanismes réactionnels et les diagrammes potentiel-pH sont abordés.

### **4.2.2. Remarques générales**

Si certains candidats s'illustrent par une bonne maîtrise des concepts et des notions disciplinaires, le jury constate néanmoins des lacunes dans de nombreuses copies. Elles concernent des notions relevant du post-baccalauréat, mais aussi, parfois des savoirs et des savoir-faire portant sur les niveaux du secondaire. En outre, le jury constate une grande hétérogénéité dans certaines copies concernant les savoirs disciplinaires selon les champs abordés.

Le jury constate des faiblesses dans les domaines suivants (qui doivent donc constituer un point d'attention tout particulier dans la préparation au concours) :

- la réactivité et les aspects mécanistiques en chimie organique (nucléophilie, électrophile, sens des flèches courbes) ;
- la thermochimie et notamment les notions liées à la quantification des échanges énergétiques se produisant lors d'une transformation chimique ;

- les différentes catégories de dosages : dosage par étalonnage, dosage par titrage direct, dosage par titrage indirect, dosage par tirage entre retour.

Toutes ces notions sont enseignées dans les programmes des filières générales et/ou technologiques du lycée ; les maîtriser est donc un préalable incontournable.

Le temps nécessaire pour traiter chaque question peut être très différent selon la nature de celle-ci. Les résolutions de problème et certaines questions pédagogiques demandent un investissement important de la part des candidats afin de proposer une réponse précise et approfondie. Le barème est conçu en conséquence. Toute tentative cohérente de début de résolution des questions ouvertes est valorisée par le jury.

Pour les questions ouvertes et les résolutions de problème, le candidat doit, de sa propre initiative, porter explicitement un regard critique (compétence VALIDER) sur le résultat qu'il obtient en statuant par exemple sur sa compatibilité avec les valeurs de références fournies. Le calcul d'un écart relatif à une valeur de référence n'est pas une notion inscrite dans les programmes officiels : il est préconisé de ne pas l'utiliser.

Enfin, en tant que potentiel futur enseignant, le jury attend d'un candidat au CAPES ou au CAFEP qu'il applique à sa propre production les principes et les méthodes de la démarche scientifique qu'il aura à transmettre une fois en situation.

#### **4.2.3. Rapport détaillé par question**

Le jury propose dans cette partie des commentaires détaillés pour chaque question. Certains candidats ont su montrer une bonne maîtrise des aspects pédagogiques et disciplinaires. Cependant, afin d'aider les futurs candidats à se préparer, l'éclairage est porté sur les points à améliorer. Des éléments de correction de l'épreuve sont proposés dans une autre partie de ce rapport.

#### **Partie 1 : Des matériaux innovants au service de la performance**

- Q1.** L'équation de formation du PTFE à partir du tétrafluoroéthène n'est que rarement rencontrée dans les copies. Des difficultés sont aussi notées dans la différenciation sans ambiguïté du motif et du polymère.
- Q2.** L'estimation de la taille des pores en tenant compte du grossissement de l'image a été généralement bien conduite mais de trop nombreux candidats commettent une erreur lors de la conversion d'unités (passage de centimètre en micromètre ou en nanomètre). Pour expliquer les propriétés du Gore-Tex®, les candidats ont en général pensé à comparer clairement le diamètre d'un pore avec la taille d'une goutte d'eau. En revanche, la comparaison avec la taille de la molécule d'eau est fréquemment restée qualitative, au lieu de prendre appui sur la valeur de la distance interatomique O-H fournie dans les données de l'énoncé.
- Q3.** Une problématique pertinente est le plus souvent proposée par les candidats. Les difficultés se sont essentiellement concentrées dans la formulation d'un exemple de réponse à fournir aux élèves. Celle-ci présente souvent une qualité scientifique insuffisante.

- Q4.** Les projections de Newman ont été trop souvent représentées de manière incomplète ou peu rigoureuse (valeur de l'angle dièdre non indiquée, représentation partielle de la molécule...). Le lien entre l'énergie potentielle, la stabilité de la conformation et la gêne stérique n'a pas toujours été explicite.
- Q5.** Les candidats se contentent trop souvent d'une comparaison des énergies des deux conformations sans proposer de justification expliquant cette différence.
- Q6.** Les candidats ayant explicitement fait le lien entre l'angle et la structure en double hélice sont rares.

## **Partie 2 : Optimiser les apports énergétiques – l'alimentation du sportif.**

- Q7.** Cette question ouverte est traitée par de nombreux candidats, mais avec des réussites très diverses. L'établissement de l'expression de la vitesse de formation du produit P est rarement mené à son terme et les erreurs rencontrées sont variées : mauvaise définition de la vitesse de formation, application de l'AEQS non aboutie, non prise en compte de la conservation de l'enzyme... L'exploitation des résultats expérimentaux fournis pour déterminer la valeur numérique des constantes est souvent réussie mais les erreurs d'unité sont fréquentes.
- Q8.** Question très peu réussie. La notion de saturation en substrat de l'enzyme n'est que très rarement abordée par les candidats.
- Q9.** Les règles de classement CIP sont globalement bien maîtrisées. Une justification claire et rigoureuse utilisant celles-ci est attendue.
- Q10.** La relation de stéréoisomérisation entre la molécule d' $\alpha$ -D-glucopyranose et celle de  $\beta$ -D-glucopyranose est souvent donnée mais peu de candidats justifient clairement leur réponse.
- Q11.** Rares sont les candidats qui sont en mesure de fournir une représentation correcte selon le formalisme de Fischer.
- Q12.** L'énoncé de la loi de Biot ne doit pas se limiter à une relation mathématique. Le CAPES étant un concours de recrutement de professeur, il est attendu des candidats qu'ils présentent les relations comme il devraient le faire en situation de classe, c'est-à-dire en identifiant les grandeurs utilisées ainsi que leurs unités respectives. La relation traduit un modèle dont les contours de validité doivent être connus. La principale cause d'erreur dans l'utilisation de cette loi est l'oubli du caractère additif de celle-ci dans le cas d'un mélange de deux molécules chirales.
- Q13.** L'écriture du mécanisme d'hémiacétalisation est souvent approximative. La catalyse acide doit figurer avec une étape d'activation de l'aldéhyde et la régénération du catalyseur en fin de mécanisme ; chaque flèche courbe doit partir d'un doublet et arriver sur un atome ou une lacune.
- Q14.** Cette question a été dans l'ensemble bien traitée, mais trop peu de candidats ont pensé à argumenter en utilisant la relation  $pH = pKa + \log(a_{Base}/a_{acide})$ .
- Q15.** Le calcul de la constante thermodynamique d'équilibre  $K(T)$  à partir de l'enthalpie libre standard de réaction est généralement bien réalisé.

- Q16.** De nombreux candidats pensent à calculer la valeur du quotient de réaction et à le comparer à la valeur de la constante thermodynamique d'équilibre de réaction donnée pour conclure correctement. Cependant la confusion entre le quotient de réaction ( $Q_r$ ) et la constante d'équilibre  $K(T)$  a été assez fréquente.
- Q17.** Cette résolution de problème est traitée par de nombreux candidats, mais rarement de manière complètement exacte. De nombreuses erreurs dans l'ajustement des nombres stœchiométriques lors de l'écriture de la réaction d'oxydation du glucose sont constatées. Les calculs de la quantité de matière de dioxygène consommée par le sportif et de l'enthalpie standard de la réaction de dégradation du glucose sont fréquemment bien conduits. En revanche, beaucoup d'erreurs sont constatées lors du calcul final du nombre de barres énergétiques, en raison de la non prise en compte d'un facteur 1/6 pour déterminer la quantité de matière de glucose nécessaire à partir de celle de dioxygène consommé. Par ailleurs, le jury rappelle l'importance de porter explicitement un regard critique (compétence VALIDER) sur le résultat d'une résolution de problème, que le résultat semble cohérent ou au contraire incohérent.
- Q18.** Les candidats sont nombreux à proposer une partie d'activité mais celle-ci est souvent sans lien avec la compétence VALIDER. Par exemple, un travail sur l'identification des sources responsables de la variabilité de la mesure est très rarement évoqué.
- Q19.** Cette question est diversement réussie. Nombreux sont les candidats qui n'associent pas le premier dosage au titrage des deux ions. Les calculs sont ensuite généralement bien conduits pour aboutir à une concentration en masse.
- Q20.** Rares sont les candidats qui conduisent des calculs de pH de précipitation convenables en raisonnant à partir des produits de solubilité.
- Q21.** Les réponses fournies sont souvent confuses ou sommaires. Peu de candidats font une analyse correcte du document fourni : l'indicateur coloré utilisé pour un titrage de cation métallique par l'EDTA se trouve sous sa forme libre après l'équivalence.

### **Partie 3 : Étude d'un produit dopant.**

- Q22.** Les erreurs scientifiques de l'élève sont généralement identifiées mais certains candidats ne relèvent pas les fautes d'orthographe et de syntaxe. Corriger l'orthographe et la syntaxe sont aussi dans les prérogatives d'un professeur de physique-chimie. Sur cette question, les candidats proposant des commentaires avec des connotations particulièrement négatives, assortis d'aucun conseil pour que l'élève puisse progresser, sont sanctionnés.
- Q23.** L'attribution des signaux 1 et 3 est souvent bien traitée contrairement à celles des signaux 2 et 4. Le couplage du proton 4 avec deux protons non équivalents n'est que très rarement évoqué par les candidats.
- Q24.** L'évocation des pistes de différenciation est souvent restée superficielle.



- Q25.** L'intérêt de ces étapes (protection) est fréquemment avancé. Cependant, des approximations dans l'écriture des mécanismes (flèches courbes...) sont trop courantes.
- Q26.** Cette question sur la nature de transformations chimiques est globalement bien réussie.
- Q27.** Nombreux sont les candidats qui ne parviennent pas à attribuer correctement l'ensemble des domaines.
- Q28.** Une justification simple et correcte en mentionnant par exemple les domaines disjoints de l'eau et de l'ion permanganate fait souvent défaut. Une réponse indiquant seulement que l'ion permanganate se dégrade n'est pas suffisante. Les diagrammes E-pH constituent un outil puissant pour la prévision de réactions en solution aqueuse.
- Q29.** Les deux demi-équations électroniques sont le plus souvent correctement écrites. Les erreurs apparaissent plutôt au niveau du bilan : sens de la réaction non naturel, bilan donné en milieu acide.
- Q30.** De nombreux candidats utilisent une stratégie de résolution sans travailler explicitement sur l'espèce  $MnO_4^{2-}(aq)$  mais en utilisant des volumes de solution de salbutamol. Cette voie permet d'aboutir au résultat attendu. Il est alors cependant nécessaire d'identifier l'ion permanganate comme espèce absorbante et de citer explicitement la loi de Beer-Lambert.

#### 4.2.4. Conclusion

Le jury observe des points de satisfaction sur les aspects pédagogiques, didactiques et sur le souci qu'ont les candidats d'essayer de traiter en profondeur toutes les questions du sujet. De nombreuses prestations attestent d'un niveau disciplinaire insuffisant, ce qui conduit à attribuer des notes basses aux candidats concernés. Il est conseillé aux futurs candidats de se préparer en travaillant en profondeur les aspects disciplinaires, de manière à disposer d'une maîtrise des notions enseignées dans le secondaire et de leurs prolongements dans le premier cycle universitaire (Licence).

La démarche de modélisation, colonne vertébrale des « nouveaux programmes » du secondaire, est une entrée intéressante pour préparer l'écrit (et l'oral) de ce concours. Travailler sur les modèles permet à la fois d'interroger le champ disciplinaire, mais aussi de s'exercer aux pratiques didactiques et pédagogiques courantes.

La notion d'incertitudes de mesures dans les sciences expérimentales ne saurait être négligée. Un changement d'approche concernant la problématique « mesures et incertitude » est proposé dans les nouveaux programmes du secondaire (session 2021 du baccalauréat). Sur tous ces sujets, le jury invite les candidats à se former et s'appropriier les ressources consultables notamment sur Éduscol.

Le jury tient à féliciter les excellents candidats qui ont réussi à démontrer leur maîtrise des savoirs disciplinaires, pédagogiques et didactiques à travers cette épreuve.

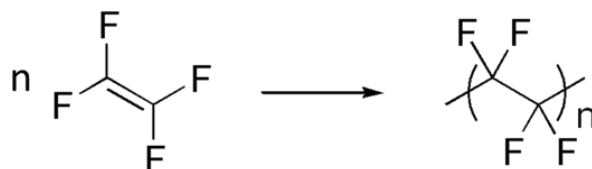
#### 4.3. Éléments de correction de l'épreuve de composition

Les éléments de correction proposés visent uniquement à aider les futurs candidats à se préparer au concours. Concernant notamment les questions pédagogiques, d'autres

approches sont possibles et ont été pleinement valorisées par le jury. **La solution proposée n'a donc aucune visée normative.**

### **Partie 1 : Des matériaux innovants au service de la performance**

**Q1.** L'équation de formation du polytétrafluoroéthane, à partir de tétrafluoroéthène, est la suivante :



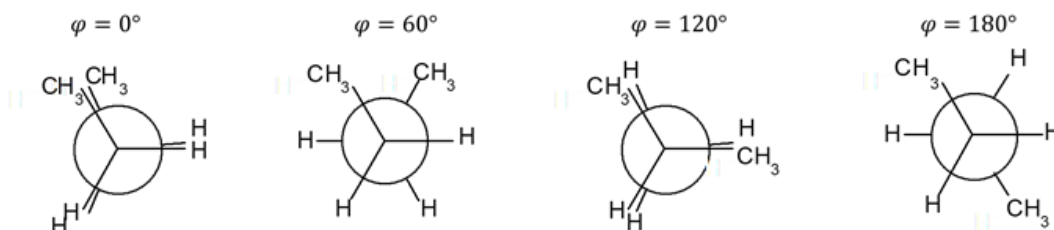
Le motif de ce polymère est  $\text{CF}_2\text{-CF}_2$ .

**Q2.** On mesure sur la figure 1 un diamètre de pore d'environ 1 cm. En prenant en compte le grossissement, on observe des pores dont le diamètre est de  $2,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ . Une molécule d'eau a une taille caractéristique que l'on peut estimer avec les distances interatomiques à environ  $200 \text{ pm} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ . Ce diamètre est insuffisant pour laisser passer une goutte d'eau ( $100 \text{ }\mu\text{m}$  soit  $10^{-4} \text{ m}$ ) mais suffisant pour laisser passer l'eau à l'état vapeur.

**Q3.** Exemple de problématique : en quoi l'évolution du procédé de production du PTFE s'inscrit dans une démarche de chimie durable ?

Exemple de réponse à fournir aux élèves : le procédé de synthèse du PTFE a progressivement évolué en substituant un solvant organique toxique par l'eau puis par le dioxyde de carbone. Ces choix de solvants est plus respectueuse de l'environnement. De plus, l'utilisation du dioxyde de carbone supercritique correspond à une voie de valorisation du dioxyde de carbone, produit en quantité élevée par l'industrie, qui peut être utilisé dans ce procédé comme solvant.

**Q4.** Représentations de Newman des conformations associées à des *minima* et *maxima* d'énergie potentielle :



Les différences d'énergies peuvent être expliquées par la gêne stérique entre les groupements portés par les atomes de carbone C2 et C3.

Les deux conformations éclipsées ( $\varphi = 0^\circ$  et  $\varphi = 120^\circ$ ) correspondent à des *maxima* d'énergie car les groupements portés par les atomes de carbone C2 et C3 sont les plus proches. De plus, parmi ces deux conformations éclipsées, la conformation correspondant à un angle dièdre  $\varphi = 0^\circ$  est la plus haute en

énergie car les deux groupements les plus volumineux (méthyle) sont directement en interaction stérique.

A *contrario*, les deux conformations décalées ( $\varphi = 60^\circ$  et  $\varphi = 180^\circ$ ) correspondent à des *minima* d'énergie car les groupements portés par les atomes de carbone C2 et C3 sont les plus éloignés. Parmi ces conformations décalées, la conformation correspondant à un angle dièdre  $\varphi = 180^\circ$  (conformation *anti*) est la plus basse en énergie car elle correspond à l'éloignement maximal des deux groupements les plus volumineux (méthyle).

**Q5.** Dans la conformation pour laquelle l'angle dièdre  $\varphi = 0^\circ$  on constate que le perfluorobutane est moins stable que le butane. La répulsion entre les atomes de fluor est donc plus forte que celle entre les groupes méthyle.

Deux arguments peuvent expliquer cette observation :

- La distance entre deux atomes de fluor est plus courte que celle entre les atomes de carbone C1 et C4 du butane. Cela est dû à la distance de la liaison C-F qui est plus courte que la distance C-C.  
Dans le détail, la distance  $d_{C1-C4}$  entre les carbones C1 et C4 est de  $256 \text{ pm}$  ( $d_{C1-C4} = 154 + 2 \times 154 \sin(109,5 - 90)$ ) et la distance entre deux atomes de fluor  $d_{F-F}$  est de  $244 \text{ pm}$  ( $d_{F-F} = 154 + 2 \times 135 \sin(109,5 - 90)$ ).
- La liaison C-F étant fortement polarisée, il existe une forte répulsion électrostatique entre les atomes de fluor du perfluorobutane.

**Q6.** Le PE étiré et le PTFE cherchent à optimiser les énergies conformationnelles, ce qui leur fait adopter leur conformation de plus basse énergie potentielle.

- Pour le PE, le conformère de plus basse énergie potentielle correspond à un angle dièdre pour chaque liaison C-C de  $180^\circ$  comme observé sur la figure 3A.
- Pour le PTFE, le conformère de plus basse énergie potentielle correspond à un angle dièdre de  $167^\circ$  environ. On observe donc sur la figure 3B une hélice associée à un pas de  $13^\circ$ . Il faut donc environ 7 unités difluorométhylène,  $-CF_2$ , pour observer une rotation de la liaison C-F d'environ un demi-tour.

## **Partie 2 : Optimiser les apports énergétiques – l'alimentation du sportif**

**Q7.** La vitesse de formation du produit s'écrit, d'après la 2<sup>ème</sup> étape :

$$v = k_2[ES] \quad (1)$$

En appliquant l'AEQS à l'espèce ES :

$$\frac{d[ES]}{dt} = k_1[E][S] - (k_{-1} + k_2)[ES] = 0 \quad (2)$$

En utilisant l'équation de conservation de la matière appliquée à l'enzyme :

$$[E]_{total} = [E]_0 = [E] + [ES] \text{ soit } [E] = [E]_0 - [ES]$$

L'expression (2) se réécrit ainsi :

$$k_1[S]([E]_0 - [ES]) - (k_{-1} + k_2)[ES] = 0$$

$$\text{soit } [ES] = \frac{k_1[S][E]_0}{k_1[S] + (k_{-1} + k_2)}$$

Ainsi (1) se réécrit,

$$v = \frac{k_2 k_1 [S][E]_0}{k_1 [S] + (k_{-1} + k_2)} = \frac{k_2 [E]_0}{1 + \frac{(k_{-1} + k_2)}{k_1 [S]}}$$

soit,

$$v = \frac{v_{max}}{1 + \frac{K_M}{[S]}} \quad \text{en posant } v_{max} = k_2 [E]_0 \text{ et } K_M = \frac{(k_{-1} + k_2)}{k_1}$$

A l'instant initial,

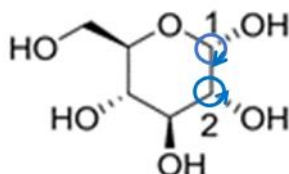
$$v = v_0 = \frac{v_{max}}{1 + \frac{K_M}{[S]_0}} \quad (3)$$

De l'expression (3) on déduit :

$$\frac{1}{v_0} = \frac{1 + \frac{K_M}{[S]_0}}{v_{max}} = \frac{1}{v_{max}} + \frac{K_M}{v_{max}} \times \frac{1}{[S]_0}$$

La linéarisation fournit une fonction affine de pente  $\frac{K_M}{v_{max}}$  et d'ordonnée à l'origine  $\frac{1}{v_{max}}$ . La régression linéaire donne  $\frac{1}{v_{max}} = 0,2531$ , soit  $v_{max} = 3,951 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ , et  $\frac{K_M}{v_{max}} = 0,0046$ , soit  $K_M = 0,0182 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

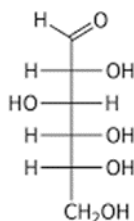
- Q8.** En augmentant la concentration initiale en substrat  $[S]_0$ , à partir d'une certaine limite, la solution est saturée en substrat et le rapport  $\frac{K_M}{[S]_0}$  tend vers 0. Dans ce cas, la vitesse initiale  $v_0 \approx v_{max}$  et tend donc vers une valeur constante.
- Q9.** Par application des règles de Cahn Ingold et Prelog, fondées sur le numéro atomique, l'ordre de priorité des groupements s'établit comme suit :
- Pour C1 : OR > OH > C2 > H : stéréodescripteur **S**
  - Pour C2 : OH > C1 > C3 > H, stéréodescripteur **R**



- Q10.** Les molécules d' $\alpha$ -D-glucopyranose et  $\beta$ -D-glucopyranose ne diffèrent que par la configuration absolue de l'atome de carbone C1. Les deux molécules ne sont pas images l'une de l'autre dans un miroir, ce sont donc des diastéréoisomères. Elles diffèrent uniquement par la configuration d'un des atomes de carbone, en

l'occurrence l'atome de carbone anomérique : on peut les spécifier de couple d'épimères ou encore plus précisément de couple d'anomères.

**Q11.** Représentation de Fisher



**Q12.** La loi de Biot s'écrit  $\alpha = [\alpha]_D^{25^\circ C} \cdot \ell \cdot c$  où  $\alpha$  représente l'angle de déviation (en degrés) du plan de polarisation de la lumière en sortie de la cuve par rapport à celui de l'onde incidente rectilignement polarisée,  $\ell$  la longueur de la cuve d'analyse (en dm),  $c$  la concentration du composé optiquement actif (en  $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ) et  $[\alpha]_D^{25}$  le pouvoir rotatoire spécifique de ce composé (en  $^\circ \cdot \text{mL} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{dm}^{-1}$ ) pour la raie D du sodium et à  $25^\circ\text{C}$ .

#### Détermination de la composition du mélange à l'équilibre

L'angle de déviation à l'équilibre  $\alpha_{\text{éq}}$  s'écrit en fonction des concentrations des stéréoisomères  $\alpha$  et  $\beta$ , notées respectivement  $c_{\alpha,\text{éq}}$  et  $c_{\beta,\text{éq}}$  :

$$\alpha_{\text{éq}} = [\alpha]_{D,\alpha}^{25^\circ\text{C}} \cdot \ell \cdot c_{\alpha,\text{éq}} + [\alpha]_{D,\beta}^{25^\circ\text{C}} \cdot \ell \cdot c_{\beta,\text{éq}}$$

En posant  $x_{\text{éq}}$  comme la proportion de stéréoisomère  $\alpha$  dans le milieu à l'équilibre, la conservation de la matière implique :

$$c_{\alpha,\text{éq}} = x_{\text{éq}} \cdot c_0 \text{ et } c_{\beta,\text{éq}} = (1 - x_{\text{éq}})c_0$$

$$\alpha_{\text{éq}} = [\alpha]_{D,\alpha}^{25^\circ\text{C}} \cdot \ell \cdot x_{\text{éq}}c_0 + [\alpha]_{D,\beta}^{25^\circ\text{C}} \cdot \ell \cdot (1 - x_{\text{éq}})c_0$$

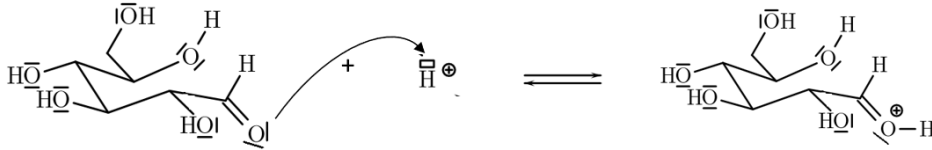
On en déduit,

$$x_{\text{éq}} = \frac{\left(\frac{\alpha_{\text{éq}}}{\ell c_0}\right) - [\alpha]_{D,\beta}^{25^\circ\text{C}}}{[\alpha]_{D,\alpha}^{25^\circ\text{C}} - [\alpha]_{D,\beta}^{25^\circ\text{C}}}$$

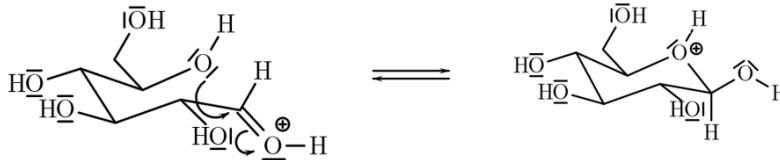
**A.N.** :  $x_{\text{éq}} = 0,365$  soit 36,5% d' $\alpha$ -D-glucopyranose et 63,5% de  $\beta$ -D-glucopyranose, ou encore  $c_{\alpha,\text{éq}} = 0,14 \text{ g/mL}$  et  $c_{\beta,\text{éq}} = 0,26 \text{ g/mL}$

**Q13.** Voici le mécanisme expliquant la formation d'un composé cyclique au choix à partir de la forme linéaire :

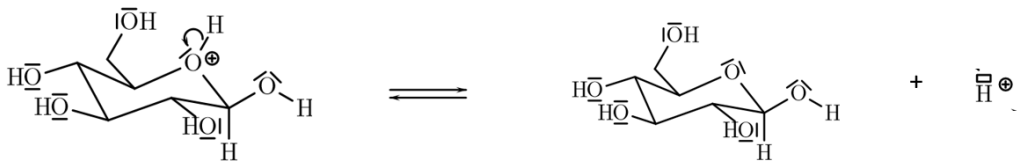
Activation de l'électrophilie de la fonction carbonyle par  $H^+$  :



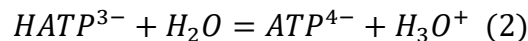
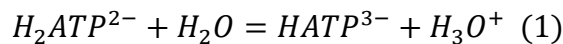
Addition nucléophile (fermeture du cycle) :



Libération de  $H^+$  :



**Q14.** Deux équilibres acidobasiques mis en jeu et les constantes d'acidité associées s'écrivent :



avec  $Ka_1 = \frac{[HATP^{3-}] \times [H_3O^+]}{[H_2ATP^{2-}]}$  et  $Ka_2 = \frac{[ATP^{4-}] \times [H_3O^+]}{[HATP^{3-}]}$  les expressions des constantes d'équilibre associées aux deux couples acide-base de Brønsted

Graphiquement, on détermine par lecture aux intersections des courbes de distribution pertinentes :

$$[H_2ATP^{2-}] = [HATP^{3-}] : pH = pKa_1, \text{ soit } pKa_1 = 4,0 \text{ (tolérance de lecture } \pm 0,2)$$

$$[HATP^{3-}] = [ATP^{4-}] : pH = pKa_2, \text{ soit } pKa_2 = 6,5 \text{ (tolérance de lecture } \pm 0,2).$$

Lorsque  $pH = 7,4$  i.e.  $pH = pKa_2 + 0,9$ , la forme majoritaire est donc  $ATP^{4-}$

**Q15.** Par définition, à l'équilibre le système n'évolue plus et le quotient de réaction prend une valeur constante appelée constante d'équilibre telle que :

$$\Delta_r G^\circ(T) + RT \ln K^\circ(T) = 0 \quad \text{soit,} \quad K^\circ(T) = e^{-\Delta_r G^\circ(T)/RT}$$

$$\text{A.N. : } K^\circ(T) = \exp \left[ \frac{30,5 \cdot 10^3}{8,314 \times 310} \right] = 1,38 \cdot 10^5$$

**Q16.** Pour prévoir le sens de la réaction, on calcule le quotient de réaction  $Q_r(T)$  dans les conditions de réaction.

Pour la réaction considérée :

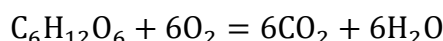
$$Q_r(T) = \frac{[ADP^{3-}] \cdot [\textit{phosphocréatine}]}{[ATP^{4-}] \cdot [\textit{créatine}]}$$

A.N. :

$$Q_r(T) = \frac{[5,0 \cdot 10^{-1}]}{[1,0 \cdot 10^{-4}]} \times 0,10 = 5,0 \cdot 10^2 > K^\circ = 4,8 \cdot 10^{-2}$$

On constate que  $Q_r(T) > K^\circ(T)$ , le système évolue donc dans le sens inverse de l'écriture du bilan, c'est à dire dans le sens de formation de l' $ATP^{4-}$  afin de régénérer les stocks d'ATP qui diminuent à cause de l'effort musculaire intense.

**Q17.** En milieu aérobie, le bilan de la dégradation du glucose par le processus de respiration cellulaire s'écrit :



L'enthalpie standard associée se calcule à l'aide de la loi de Hess :

$$\Delta_r H_{298}^\circ = 6 \times \Delta_f H_{298}^\circ(CO_2) + 6 \times \Delta_f H_{298}^\circ(H_2O) - \Delta_f H_{298}^\circ(C_6H_{12}O_6)$$

A.N. :  $\Delta_r H_{298}^\circ = -2798,4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

Graphiquement, on estime la valeur de  $V_{O_2, \text{max}}$  à  $63 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

Ainsi, pour un effort de 1h, soit 60 minutes, à 80% de cette valeur, le sportif de 90kg consomme  $n_{O_2}$  mol de dioxygène:

$$n_{O_2} = \frac{V_{O_2, \text{consommé}}}{V_m} = \frac{0,80 \times 90 \times 60 \times V_{O_2, \text{max}}}{V_m} = 11,0 \text{ mol}$$

Le nombre de mole de glucose potentiellement dégradé par le processus est donc :

$$n_{C_6H_{12}O_6} = \frac{n_{O_2}}{6} = 1,83 \text{ mol}$$

En assimilant les pertes énergétiques au processus de respiration cellulaire, on déduit une consommation énergétique associée de :

$$\text{Dépense énergétique} = n_{C_6H_{12}O_6} \times \Delta_r H_{298}^\circ = 5,12 \cdot 10^3 \text{ kJ} = 1,22 \cdot 10^3 \text{ kcal}$$

Cette dépense énergétique pourrait être compensée par un apport énergétique correspondant à :

$$\text{nombre de barres} = \frac{\text{Dépense énergétique}}{\text{apport énergétique d'une barre}} = \frac{1,22 \cdot 10^3}{147} = 8,3 \text{ barres}$$

Conclusion : Il faudrait théoriquement consommer plus de 8 barres énergétiques pour compenser totalement les pertes dues à l'effort musculaire.

**Q18.** Il est possible de faire réfléchir les élèves sur les notions de chiffres significatifs et d'incertitudes.

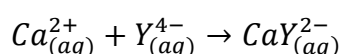
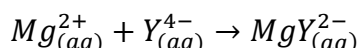
Exemple 1 : Exprimer un résultat de mesure avec le nombre de chiffres significatifs adaptés et l'incertitude-type associée.

Information apportée aux élèves : l'incertitude type écrite avec un grand nombre de chiffres après la virgule comme obtenue lorsqu'elle est calculée à l'aide d'un programme informatique.

**Exemple 2 :** Un expérimentateur a réalisé l'expérience 9 fois. À partir des résultats expérimentaux fournis, évaluer l'incertitude type sur la concentration en ions  $Mg^{2+}$ .

Information apportée aux élèves : un tableau de valeurs et un formulaire sur l'incertitude de type A.

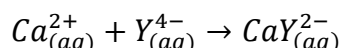
**Q19.** Le volume  $V_{E1}$  correspond au volume équivalent du titrage global des ions calcium (II) et magnésium (II). Les deux équations de titrage supposées quantitatives, s'écrivent :



A l'équivalence :  $(n_{Y^{4-}})_{eq} = (n_{Ca^{2+}} + n_{Mg^{2+}})_{eq}$

soit  $[Y^{4-}] \cdot V_{E1} = ([Mg^{2+}] + [Ca^{2+}]) \cdot V_{essai1}$

Le volume  $V_{E2}$  correspond au volume équivalent du titrage sélectif des ions  $Ca^{2+}$  selon la réaction :



À l'équivalence :  $(n_{Y^{4-}})_{eq} = (n_{Ca^{2+}})_{eq}$

soit  $[Y^{4-}] \cdot V_{E2} = [Ca^{2+}] \cdot V_{essai2}$

Dans les conditions du titrage,  $[Y^{4-}] = C_{EDTA}$ , soit :

$$[Ca^{2+}] = \frac{C_{EDTA} \cdot V_{E2}}{V_{essai2}} = \frac{5,00 \cdot 10^{-3} \times 15,3 \cdot 10^{-3}}{20,0 \cdot 10^{-3}} = 3,83 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$\text{soit } c_{Ca^{2+}} = [Ca^{2+}] \times M_{Ca^{2+}} = 3,83 \cdot 10^{-3} \times 40,1 = 154 \cdot 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \\ = 154 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$$

On déduit de la relation du premier titrage la concentration en ions magnésium (II) :

$$[Mg^{2+}] = \frac{C_{EDTA} \cdot V_{E1}}{V_{essai1}} - [Ca^{2+}] = \frac{5,00 \cdot 10^{-3} \times 14,2 \cdot 10^{-3}}{10,0 \cdot 10^{-3}} - 3,83 \cdot 10^{-3} \\ = 3,27 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$\text{soit } c_{Mg^{2+}} = [Mg^{2+}] \times M_{Mg^{2+}} = 3,27 \cdot 10^{-3} \times 24,3 = 79 \cdot 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} = \\ 79 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}.$$

Concentration titrée en mg/L	Concentration annoncée en mg/L
$154 \pm 5$	153
$79 \pm 7$	80

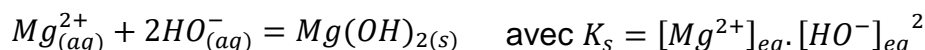


Conclusion : Les résultats du titrage correspondent aux données de l'étiquette à 1 u près.

**Q20.** Pour titrer sélectivement les ions calcium (II), il est nécessaire que le pH du milieu permette la précipitation quantitative des ions magnésium (II) en hydroxyde de magnésium, sans précipiter les ions calcium (II) de manière significative.

- Calcul du pH minimal de précipitation quantitative des ions magnésium (II) dans l'eau à doser :

L'équation de précipitation des ions magnésium (II) s'écrit :



$$\text{On calcule ainsi } [HO^-]_{eq} = \sqrt{\frac{K_s}{[Mg^{2+}]_{eq}}} = \sqrt{\frac{10^{-10,8}}{3,27 \cdot 10^{-3}}} = 6,96 \cdot 10^{-5} \text{ mol} \cdot L^{-1}.$$

On en déduit la concentration limite en ions oxonium pour la précipitation des ions magnésium (II) :  $[H_3O^+] = \frac{K_e}{[HO^-]_{eq}} = 1,44 \cdot 10^{-10} \text{ mol} \cdot L^{-1}$ . Le pH limite de précipitation est donc égal à  $pH_{lim,Mg} = -\log([H_3O^+]) = 9,8$ .

Pour une précipitation quantitative des ions magnésium (II), on doit donc se placer à  $pH_{lim} + 1$  soit environ 11.

- Calcul du pH de début de précipitation des ions  $Ca^{2+}$  dans l'eau à doser :

L'équation de précipitation des ions calcium (II) s'écrit :



$$\text{soit } [HO^-]_{eq}' = \sqrt{\frac{K'_s}{[Ca^{2+}]_{eq}}} = \sqrt{\frac{10^{-5,3}}{3,83 \cdot 10^{-3}}} = 3,62 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot L^{-1}$$

On en déduit la concentration limite en ions oxonium pour la précipitation des ions calcium (II) :  $[H_3O^+]' = \frac{K_e}{[HO^-]_{eq}'} = 2,76 \cdot 10^{-13} \text{ mol} \cdot L^{-1}$ . Le pH limite de précipitation est donc égal à  $pH_{lim,Ca} = -\log([H_3O^+]') = 12,6$ .

Conclusion : La fourchette de pH comprise entre 11 et 12 permet un dosage sélectif des ions calcium ce qui est conforme avec le protocole opératoire.

**Q21.** Dans le premier dosage, le milieu est tamponné à pH = 10. Avant l'équivalence, le NET est complexé aux ions calcium et magnésium, la solution est alors de couleur rouge vin caractéristique des complexes en solution. Après l'équivalence, les ions sont complexés avec l'EDTA. La solution prend donc la couleur de la forme libre du NET, soit bleu à pH = 10. Le virage observé est donc de la teinte rouge vin à la teinte bleue.

Dans le second dosage, le milieu est à pH = 12. Avant l'équivalence, le réactif de Patton et Reader est complexé aux ions calcium, la solution est alors de couleur rose violette caractéristique du complexe en solution. Après l'équivalence, les ions sont complexés avec l'EDTA. La solution prend donc la couleur de la forme

libre du réactif de Patton et Reader, soit bleu à pH = 12. Le virage observé est donc de la teinte rose violet à la teinte bleue.

### Partie 3: Étude d'un produit dopant

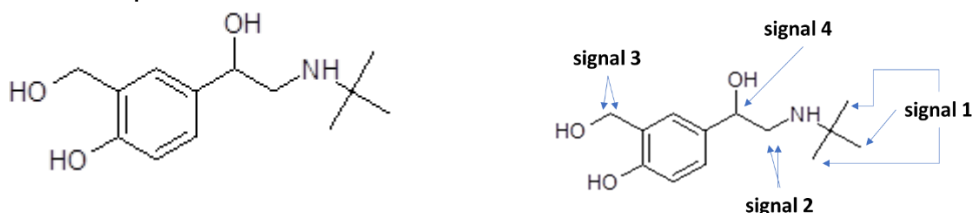
**Q22.** Commentaires et annotations de la copie d'élève

- Question 1 : la molécule est bien recopiée, l'atome de carbone asymétrique est repéré correctement
- Question 2 : il manque la notion de proportion identiques en énantiomères pour définir correctement la notion de « mélange racémique ». La représentation de la molécule de droite n'est pas juste. Ce n'est pas un tétraèdre.
- Question 3 : l'attribution des signaux proposée est correcte mais aucune justification n'est donnée.
- Question 4 : l'élève a associé des lignes de la table IR à des groupements de la molécule. Il n'est pas évident d'identifier si ce dernier a bien utilisé le spectre pour faire l'attribution. De plus la rédaction de la réponse est sommaire.

#### Exemples de conseils à prodiguer :

- Améliorer la rédaction en spectroscopie : pour la RMN, il est nécessaire d'utiliser la multiplicité des signaux observée ainsi que leur intégration ; pour les données IR il est nécessaire d'attribuer plus précisément les bandes retrouvées sur le spectre et de ne pas se contenter de recopier la table sans rédiger.
- Reprendre les règles d'écriture de Cram.
- Bien se relire : fautes d'orthographe (assymétrique/ rotatoire), la représentation du signal de H<sub>2</sub> (Signal 3 / question 3) n'est pas correcte.

**Q23.** Attribution du spectre RMN



Signal	Déplacement chimique (ppm)	Intégration	Multiplicité
1	1,39	9	singulet
2	3,18-3,31	2	multiplet
3	4,68	2	singulet
4	4,92	1	douplet dédoublé
	6,90-7,40	3	Non détaillés

Observation préliminaire : en raison de la présence du centre stéréogène, les deux atomes d'hydrogène du groupement méthylène, CH<sub>2</sub>, ne sont pas équivalents : ils sont diastéréotopes.

- Le signal 1, d'intégrale 9, correspond aux neuf protons équivalents du groupe tertibutyle (libre rotation rapide à l'échelle de temps de la RMN)

des liaisons C<sub>quaternaire</sub>-CH<sub>3</sub> et N-C<sub>quaternaire</sub>) au sein du groupement tertibutyle.

- Le signal 4, d'intégrale 1, a un déplacement chimique cohérent avec le signal d'un atome d'hydrogène porté par un atome de carbone en alpha d'un groupe hydroxyle et n'est pas un singulet : il s'agit du signal de l'atome d'hydrogène porté par le centré stéréogène. Il est couplé aux deux protons diastéréotopes, *a priori* avec deux constantes de couplage différentes : il s'agit d'un doublet dédoublé.
- Le signal 2, d'intégrale 2, correspond aux signaux des deux protons du groupement méthylène, CH<sub>2</sub>, non équivalents, en raison du centre stéréogène de la molécule. Chacun d'eux, en plus d'être couplé avec son partenaire diastéréotope au sein du groupement méthylène (couplage géminale), est couplé avec le proton associé au signal 4, avec *a priori* des constantes de couplage distinctes : le signal 2 correspond donc à deux doublets dédoublés.
- Le signal 3, d'intégrale 2, a un déplacement chimique cohérent avec le signal d'un atome d'hydrogène porté par un atome de carbone en alpha d'un groupe hydroxyle et est un singulet: le couplage avec l'atome d'hydrogène aromatique en *ortho* des deux chaînes alkyles certainement plus petit que la moitié de la largeur de raie observée expérimentalement.

#### Q24. Exemple

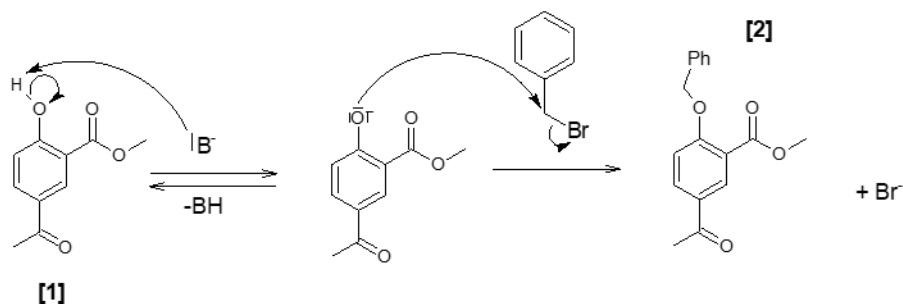
Pour les élèves voulant s'orienter vers des études scientifiques :

- Proposer une attribution plus complète des signaux, expliquer les couplages en allant plus loin que la règle du (n+1) uplet
- Travailler sur la rédaction des attributions des spectres IR/ RMN
- Donner d'autres exemples de molécules sur lesquelles travailler
- Utiliser le matériel disponible dans l'établissement grâce au BTS : réaliser ou faire réaliser des spectres
- ....

Pour les élèves voulant s'orienter vers des études non scientifiques :

- Objectif baccalauréat : préparer au mieux les élèves à l'épreuve en travaillant les mêmes notions sur un format plus proche de l'épreuve (molécule et attribution plus simples)
- Travailler des compétences transversales : communication, analyse de document, ...

**Q25.** Le mécanisme réactionnel associé au passage de l'intermédiaire [1] à l'intermédiaire [2] proposé est décrit ci-dessous. L'intérêt de cette étape réside dans la protection du phénol en étheroxyde.



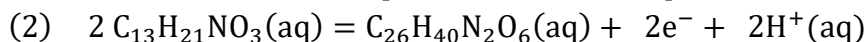
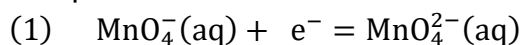
**Q26.** La transformation chimique de [3] à [4] est une substitution nucléophile  
La transformation chimique de [4] à [5] est une réaction d'oxydoréduction, précisément une réduction de la fonction cétone en alcool.

**Q27.** En fonction du pH et à l'aide de la détermination des degrés d'oxydation de l'élément manganèse dans les différentes espèces proposées, celles-ci peuvent être associées à leur domaine d'existence/prédominance dans le diagramme potentiel-pH présenté.

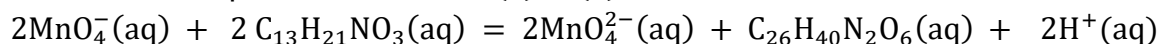
Espèce	Degré d'oxydation	Domaine
$[\text{Mn}(\text{OH})]^+(\text{aq})$	+II	Domaine B
$\text{Mn}^{2+}(\text{aq})$	+II	Domaine A
$[\text{Mn}(\text{OH})_3]^-(\text{aq})$	+II	Domaine C
$\text{MnO}_2(\text{s})$	+IV	Domaine D
$\text{MnO}_4^{2-}(\text{aq})$	+VI	Domaine E
$\text{MnO}_4^-(\text{aq})$	+VII	Domaine F

**Q28.** L'ion  $\text{MnO}_4^{2-}(\text{aq})$  présente un domaine de prédominance (F) disjoint de celui de l'eau. Il réagit donc de façon spontanée avec elle. Il est donc nécessaire de préparer fraîchement les solutions contenant ces ions afin de limiter leur dégradation.

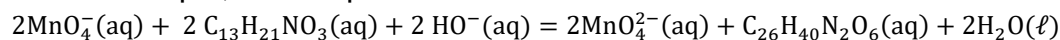
**Q29.** Écriture des deux demi-équations rédox :



On obtient l'équation rédox :  $2 \times (1) + (2)$



En milieu basique, cette équation devient :



**Q30.** Au cours de cette expérience, on effectue la réaction proposée en Q29 et on dose par spectroscopie la quantité d'ion  $\text{MnO}_4^{2-}(\text{aq})$  produite. Les ions permanganate et hydroxyde sont en large excès, la quantité d'ions  $\text{MnO}_4^{2-}(\text{aq})$  produite correspond donc à la quantité de matière de salbutamol introduit.

• Etude de la gamme étalon : recherche de la relation entre l'absorbance et la quantité de matière en salbutamol introduit.

$$A = \varepsilon.l.[MnO_4^{2-}] = \varepsilon.l.\frac{n(MnO_4^{2-})}{V(tot)} = \varepsilon.l.\frac{n(salb,i)}{V(tot)} = \varepsilon.l.\frac{C.V}{V(tot)}$$

où  $n(salb,i)$  désigne la quantité de matière en salbutamol introduit,  $C$  la concentration en sulfate de salbutamol. On a donc une relation de proportionnalité entre l'absorbance mesurée et le volume de solution versé comme vérifié par la régression linéaire ci-dessous.

$$A = k.V \text{ avec } k = 1,38.10^{-1}\text{mL}^{-1}$$

*Remarque : On pourrait aussi tracer  $A = f(n(salb,i))$  ou  $A = f([salb,i])$*

• **Détermination de la masse en salbutamol d'un comprimé :**

L'absorbance mesurée pour l'échantillon de concentration inconnu correspond à un volume équivalent de solution étalon de  $V_1 = \frac{A}{k}$ , ce qui correspond à une quantité de matière introduite de :  $n_1 = \frac{A.C}{k}$

On introduit 1,00 mL de la solution pour un volume total de 100,0 mL. La quantité de matière en salbutamol dans un comprimé est donc de :

$$n_2 = \frac{100.A.C}{k}$$

La masse en salbutamol d'un comprimé est alors de :

$$m = \frac{100.A.C.M}{k} = 4,01 \text{ mg}$$

Il faut donc administrer 4 comprimés pour respecter la posologie habituelle.

Remarque : des stratégies de résolution peuvent aboutir sans travailler explicitement sur l'espèce  $MnO_4^{2-}$  mais en utilisant des volumes de solution de salbutamol. Ces stratégies ont été entièrement valorisées.

#### **4.4. Rapport sur l'épreuve d'exploitation d'un dossier documentaire**

##### **4.4.1. Sujet de l'épreuve**

Le sujet balaie un vaste domaine de la physique et propose des questions variées en termes de difficulté. Composé de quatre parties indépendantes – l'alimentation électrique d'une maison ; vers une maison basse consommation ; communications par ondes électromagnétiques dans la maison ; caractéristiques du son émis par un piano – il permet aux candidats de valoriser leurs qualités pédagogiques, leurs connaissances théoriques et leurs savoir-faire.

##### **4.4.2. Remarques générales**

###### **4.4.2.1. Présentation et rédaction**

Il est recommandé aux candidats de lire attentivement les questions afin de ne pas oublier de sous-questions, de respecter l'indexation des questions que le sujet impose – ce point est primordial lors de la phase de correction numérique des copies – et de mettre en valeur les résultats obtenus.

Il est par ailleurs attendu des candidats souhaitant devenir enseignants une rédaction soignée et rigoureuse : qualité des explications, présentation des raisonnements, orthographe correcte. Les candidats sont invités, même lorsque cela n'est pas explicitement demandé, à faire des schémas clairement annotés introduisant les grandeurs utilisées dans leur raisonnement. Un schéma clair, annoté et soigné participe de la qualité de la réponse formulée par le candidat ; par exemple, les copies comportant des circuits électriques ou des schémas optiques soigneusement présentés et répondant aux problématiques posées sont valorisées. Dans l'ensemble, trop peu de candidats semblent l'avoir compris alors que ce langage scientifique dédié à la discipline physique-chimie constitue un outil essentiel au futur professeur dans l'exercice de son métier.

#### **4.4.2.2. Constats généraux et recommandations**

Concernant la conduite des calculs, certains candidats attestent de leur capacité à manipuler avec aisance les fonctions et opérations mathématiques nécessaires à l'enseignement de la physique-chimie. Cependant beaucoup de candidats éprouvent de grandes difficultés lors de la manipulation des objets mathématiques de base : manipulation des puissances de 10 ; connaissance d'expressions de surfaces simples (sphère, disque) ; résolution d'une équation différentielle.

Par ailleurs, la capacité à résoudre des exercices de niveau lycée est un attendu essentiel dans ce type d'épreuve ; il n'est donc pas acceptable qu'un candidat ne soit pas en mesure de proposer la solution d'un exercice qu'il serait amené à traiter devant des élèves. Il convient donc de parfaitement bien maîtriser ce qui est enseigné dans le cadre des programmes de collège et de lycée.

Concernant les questions pédagogiques, elles sont traitées de manière très inégale. Certains candidats développent à l'excès leur argumentation et consacrent probablement un temps trop conséquent à ce type de questions – même si les réponses peuvent être excellentes. D'autres, au contraire, formulent des réponses trop succinctes et ne prennent pas le temps de développer leur pensée qui apparaît alors trop sommaire au regard des attentes.

Il est recommandé de savoir proposer des remédiations pédagogiques de qualité, valorisant la différenciation, le travail collectif et la recherche de l'autonomie de l'élève. Les annotations demandées sur les copies d'élève doivent notamment montrer que le candidat est en capacité de guider l'élève dans sa progression.

Le sujet propose plusieurs résolutions de problèmes. Trop peu de candidats les traitent même partiellement. Cependant, certains candidats se mettent en valeur en proposant des démarches abouties et parfois originales et différentes de celles imaginées par les rédacteurs du sujet. Pour résoudre de telles situations, il est important de conserver des expressions littérales en cours de démarche et de préciser également l'intérêt de chaque étape de son calcul : il est donc souhaitable de mettre en avant la démarche suivie ou au moins le début de celle-ci lorsqu'elle n'a pas abouti.

### 4.4.3. Rapport détaillé par question

#### Partie 1

- Q1.** La question dans l'ensemble est bien traitée. Il est recommandé cependant de veiller à proposer un vocabulaire scientifique afin de désigner les différentes formes d'énergie envisagées. Si les conversions d'énergie mécanique ou d'énergie radiative sont bien connues, la conversion électrochimique se fait plus discrète.
- Q2.** Peu d'erreurs sont à relever. Si les réponses à un QCM sont demandées, il est impératif que les lettres des réponses sélectionnées par le candidat figurent dans sa copie.
- Q3.** La notation  ${}^A_ZX$  ne semble pas être maîtrisée par tous les candidats. En ce qui concerne la remédiation, la plupart des candidats reste dans une approche simple et classique (cours à reprendre, exercices d'application, etc.). Trop rarement sont proposés des exercices interactifs valorisant l'autonomie de l'élève tout en étant formateurs.
- Q4.** L'unité de la puissance surfacique est connue par la plupart des candidats. De nombreux candidats confondent analyse dimensionnelle et unités (SI) d'une grandeur (dans le cas présent, il n'était pas utile d'effectuer une analyse dimensionnelle). Peu de candidats savent déterminer la puissance radiative surfacique reçue par la Terre, en ayant cependant déterminé correctement la puissance radiative émise par le Soleil. Beaucoup de candidats ne mènent pas le calcul à son terme, ne connaissant pas l'expression de la surface d'une sphère.
- Q5.** Très peu de schémas sont complets dans les copies et donc peu de bilans radiatifs sont justes. Un grand nombre de candidats ne comprend pas que l'étude porte sur l'effet de serre (malgré le titre de la question) et ils le proposent ainsi comme cause de l'écart de température. Le jury note cependant, pour cet écart, les réponses pertinentes de certains candidats, attestant ainsi d'une certaine culture générale. Il est important, compte-tenu des enjeux sociétaux de cette thématique, que les candidats puissent proposer une démarche permettant d'expliquer ce qu'est l'effet de serre.
- Q6.** Si les branchements d'un ampèremètre et d'un voltmètre sont connus par une grande majorité des candidats, la présence de la résistance n'est pas apparue indispensable à un certain nombre. Par ailleurs, il est important de mentionner les bornes des appareils sur le schéma afin d'attester de sa compréhension du montage à effectuer (la cellule photovoltaïque se comportant en générateur, les multimètres doivent être branchés en conséquence). Proposer un protocole ne peut pas se résumer à préciser si les appareils de mesure sont éteints ou allumés. Il convient de justifier la fonction des différents dipôles ou appareils de mesure (dans le cas présent, il faut au moins rappeler l'intérêt d'une résistance variable qui permet de tracer la caractéristique d'une cellule photovoltaïque).
- Q7.** Si la lecture des valeurs sur le graphe est correctement faite pour une grande majorité des candidats, la justification de l'existence d'une puissance maximale est beaucoup plus rare ou peu pertinente.
- Q8.** La question est bien réussie par beaucoup de candidats.
- Q9.** La plupart des candidats s'arrête à la question préliminaire, généralement bien traitée. La suite de la question est plus délicate. Aucun candidat ne procède à

une étude quantitative avec une exploitation de la courbe fournie. Quelques candidats, ayant analysé correctement le phénomène, effectuent une étude qualitative, en s'appuyant sur la courbe. Il faut rappeler que toute démarche pertinente est valorisée.

- Q10.** Seuls quelques rares candidats traitent correctement cette question, qui relève de l'enseignement supérieur. Le résultat est donné dans l'énoncé, ce qui amène beaucoup de candidats à conduire des raisonnements approximatifs pour obtenir l'expression (ce commentaire est également valable pour Q11). Toute étape pertinente et correctement menée est valorisée. L'expression de la capacité est connue de bon nombre de candidats. Certains déterminent une capacité négative, sans formuler aucun commentaire : il faut rappeler qu'un regard critique sur les résultats obtenus est indispensable.
- Q11.** Le commentaire de la question Q10 s'applique également à cette question.
- Q12.** Un schéma électrique annoté est indispensable pour que cette question soit traitée convenablement : la maîtrise de ce type de langage est essentielle si l'on souhaite devenir professeur de physique-chimie. Alors qu'ils écrivent correctement les lois électriques, beaucoup de candidats établissent l'équation différentielle vérifiée par la charge (démonstration correcte) mais non par la tension  $U_m$  comme demandée ; cette erreur peut être évitée par une lecture correcte de l'énoncé.
- Q13.** Cette question est très peu abordée, du fait de la difficulté de l'établissement de l'équation différentielle à la question précédente ou du manque de maîtrise de l'outil mathématique. Il est fréquent en physique de négliger certains termes par rapport à d'autres. Les candidats doivent donc être habitués à ce type de raisonnement.

## **Partie 2**

Cette partie est assez bien traitée par ceux qui l'abordent.

- Q14.** La question est bien réussie par les candidats. Cependant, là encore un certain nombre de candidats ne porte pas attention au document fourni qui mentionne « par  $m^2$  de surface plancher » et prend en compte la surface du toit et non celle du sol.
- Q15.** La question est bien réussie par les candidats.
- Q16.** La question permet de mettre en valeur beaucoup de candidats. Le jury constate un certain nombre de confusions entre « résistance thermique » et « conductance thermique ».
- Q17.** Dans l'ensemble l'analyse thermique est bien traitée.
- Q18.** La question est bien traitée dans l'ensemble.
- Q19.** La question est bien traitée dans l'ensemble.
- Q20.** La question est très « classique » et pose beaucoup de problèmes de rigueur dans les signes : la thermodynamique est un domaine où l'algébrisation des grandeurs et le respect des conventions sont essentiels. Peu de candidats savent appliquer les deux principes de la thermodynamique pour retrouver l'efficacité du cycle de Carnot, même si ces derniers sont correctement connus.



### **Partie 3**

- Q21.** La question est relativement bien réussie par nombre de candidats. Le jury est satisfait d'observer que la composante numérique de la physique, qui est un thème introduit récemment dans les programmes de lycée, semble être bien maîtrisée par les futurs professeurs. Les candidats doivent veiller à être précis dans le vocabulaire employé : les expressions « octet » et « synthèse additive » sont attendus dans la réponse et ne sont pas systématiquement employés.
- Q22.** Le jury relève beaucoup de paraphrases du sujet et peu de candidats développent clairement leurs idées. Proposer une activité ne peut se résumer à une description vague et peu précise de ce qui sera observé puis interprété. Il s'agit de proposer une activité permettant de déconstruire une conception initiale, en tenant compte de la liste du matériel fourni, même si toute activité pertinente est valorisée.
- Q23.** Le jury constate que la définition d'une onde progressive semble poser problème à de nombreux candidats. En revanche la différence onde mécanique/onde électromagnétique liée au support matériel est connue.
- Q24.** Toute réponse avec une justification pertinente est acceptée.
- Q25.** Beaucoup de propriétés du laser sont citées mais peu de candidats répondent à la question en insistant sur la directivité.
- Q26.** Un schéma est essentiel lorsque le candidat introduit des notations personnelles. Cela permet ensuite une compréhension aisée de la résolution proposée. Les candidats doivent faire attention à la présentation de leur raisonnement. Beaucoup de raisonnements présentés comportent des mélanges entre grandeurs littérales et valeurs numériques.
- Q27.** La question est bien traitée. Le jury rappelle aux candidats de ne pas oublier de commenter : cela est explicitement demandé.
- Q28.** La question est très peu abordée. Certains candidats cependant comprennent la problématique mais sont maladroits dans la résolution.

### **Partie 4**

- Q29.** La question est bien réussie dans l'ensemble. Le fait que certains candidats recopient la version de l'élève avec ses erreurs est immédiatement repéré par le jury.
- Q30.** Ce travail doit permettre de repérer les erreurs mais aussi d'aider l'élève dans sa progression. Le jury apprécie la présence de remarques pertinentes et encourageantes à destination de l'élève. Il faut donc repérer les difficultés et les annoter de façon détaillée pour aider l'élève à progresser, mais il convient également de souligner les éléments positifs de la copie d'un élève afin de valoriser son travail.
- Q31.** Si le principe de l'utilisation du programme en Python est compris, peu de candidats montrent qu'ils ont lu et se sont appropriés le code et ainsi qu'ils peuvent le modifier judicieusement pour répondre à la question : il est indispensable que le candidat cite les lignes qu'il souhaite modifier.
- Q32.** Il s'agit d'une question « classique » dans les programmes de physique de l'enseignement supérieur mais très peu abordée. Là encore, le jury recommande

vivement d'effectuer la démonstration demandée après avoir au préalable représenté la situation sur un schéma (qui n'est pas fourni dans l'énoncé) et introduit sur ce même schéma les notations nécessaires à la démonstration.

**Q33.** Le commentaire de la Q32 s'applique également à cette question.

**Q34.** La question est peu abordée. Il est important de veiller aux consignes quant aux arguments quantitatifs attendus : un certain nombre de candidats comprennent le principe justifiant l'enroulement du fil de cuivre sans s'appuyer sur des valeurs numériques. La notion d'« ondes stationnaires » est rarement exploitée.

Le jury tient à féliciter les candidats qui réussissent à démontrer leur maîtrise des savoirs disciplinaires, pédagogiques et didactiques à travers cette épreuve.

#### 4.5.Éléments de correction de l'épreuve d'exploitation d'un dossier documentaire

Les éléments de correction proposés visent uniquement à aider les futurs candidats à se préparer au concours. Concernant notamment les questions pédagogiques, d'autres approches sont possibles et ont été pleinement valorisées par le jury. **La solution proposée n'a donc aucune visée normative.**

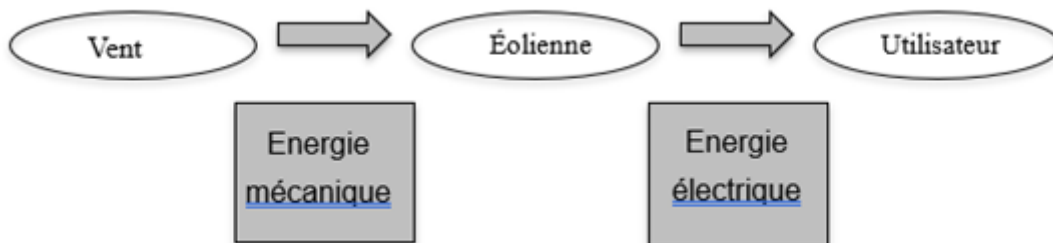
**Q1.** Conversions d'énergie

Conversion d'énergie mécanique (de pesanteur, cinétique) :

- directe ; ex : éolienne, barrage hydraulique
- indirecte ; ex : géothermie, centrale nucléaire

Conversion d'énergie radiative ; ex : panneau photovoltaïque

Conversion électrochimique ; ex : pile, accumulateur



**Q2.** Réponses aux QCM : **Q1** : C ; **Q2** : A ; **Q3** : B ; **Q4** : B

**Q3.** Les confusions mises en évidence pour les questions Q1 et Q3 sont :

- Confusions pour Q1 : confusion entre fusion et dissolution, confusion entre transformation physique et chimique
- Confusion pour Q3 : confusion entre noyau et atome lors de l'écriture de la réaction

Ci-dessous sont proposées l'interprétation et la remédiation des réponses de la question Q4 :

- Interprétation des réponses de Q4 : méconnaissance de l'écriture symbolique d'un noyau, confusion entre nombre de masse et nombre de protons ou méconnaissance de la définition d'un isotope.

- Remédiation :

- ✓ « niveau 1 » : reprendre le cours, refaire des exercices, rappeler les définitions...
- ✓ « niveau 2 » : proposer des exercices interactifs (demandant d'équilibrer des réactions nucléaires et d'autres demandant la composition d'un nucléide à partir de son écriture symbolique). Proposer des activités impliquant l'élève, favorisant son autonomie, permettant la différenciation...

**Q4.** L'unité de  $\varphi$  est le  $W.m^{-2}$

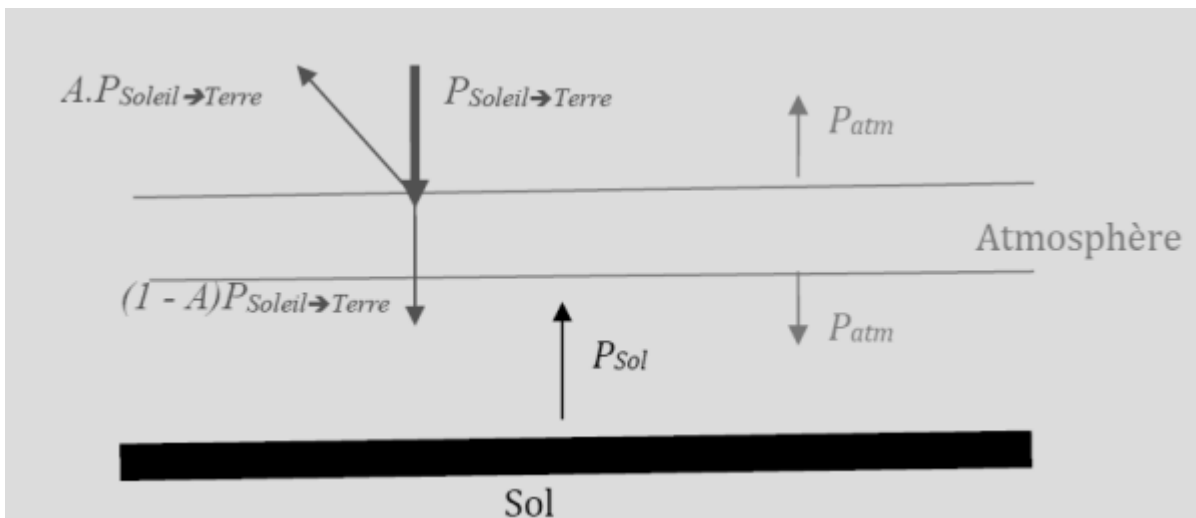
La puissance radiative émise à la surface du Soleil est :

$$P_{Soleil} = 4\pi R_S^2 \sigma T_S^4 = 3,9 \cdot 10^{26} \text{ W}$$

La puissance radiative surfacique reçue par la Terre correspond à la puissance émise par le Soleil qui se répartit sur une sphère de rayon  $d_{ST}$  soit :

$$\varphi_{Soleil \rightarrow Terre} = \frac{P_{Soleil}}{4\pi d_{ST}^2} = 1,4 \text{ kW.m}^{-2}$$

**Q5.**

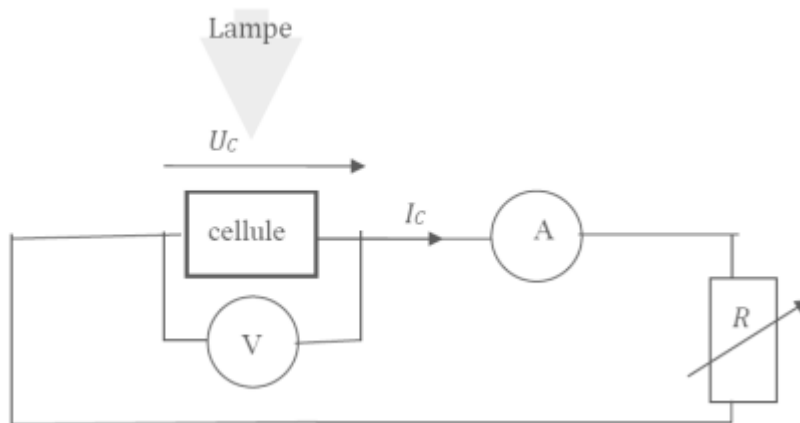


- Bilan radiatif pour la Terre :  $P_{sol} = (1 - A) P_{soleil \rightarrow Terre} + P_{atm}$  avec  $P_{sol} = \sigma T_{sol}^4 \cdot 4\pi R_T^2$  et  $P_{soleil \rightarrow Terre} = \varphi_{soleil \rightarrow Terre} \cdot \pi R_T^2$
- Bilan radiatif pour l'atmosphère :  $P_{sol} = 2P_{atm}$ .

En éliminant  $P_{atm}$ , on aboutit à :  $T_{Sol} = \left[ \frac{(1-A)\varphi_{soleil \rightarrow Terre}}{2\sigma} \right]^{\frac{1}{4}} = 300 \text{ K} = 27^\circ\text{C}$

Les causes de l'écart entre ces deux valeurs envisagées : l'atmosphère n'est pas totalement transparente au rayonnement solaire ; les océans absorbent une partie du rayonnement solaire, sans réémission ; l'atmosphère n'absorbe pas tout le rayonnement terrestre ; système « multicouche » ; intervention de l'action de dioxyde de carbone...

**Q6.** Schéma électrique



Protocole :

- on utilise plusieurs valeurs de  $R$  ; pour chaque valeur on relève sur le multimètre A la valeur de  $I_C$  et sur le multimètre V la valeur de  $U_C$  ;

- on mesure avec le luxmètre l'éclairement lumineux de la lampe, le luxmètre remplaçant exactement la cellule (une conversion sera nécessaire pour passer à l'éclairement énergétique).

**Q7.** On considère les deux cas de figure pour lesquels le circuit est ouvert ou en court-circuit afin de déterminer  $U_{C0}$  et  $I_{CC}$  .

Circuit ouvert :  $I_C = 0$  ; après lecture sur la courbe, on obtient :  $U_{C0} \approx 5,8 \text{ V}$

Court-circuit :  $U_C = 0$  ; après lecture sur la courbe, on obtient:  $I_{CC} \approx 47 \text{ mA}$

La puissance en court-circuit ( $U_C = 0$ ) est nulle ; elle l'est également en circuit ouvert ( $I_C$  adopte sa valeur maximale) : lorsque  $U_C$  varie entre ces deux valeurs limites, la puissance passe nécessairement par un maximum.

**Q8.** Rendement d'une cellule photovoltaïque

On définit le rendement de la cellule  $r = \frac{P_{\max}}{P_{\text{reçue}}}$  où  $P_{\text{reçue}}$  est la puissance lumineuse reçue par la cellule, et  $P_{\max}$  la puissance électrique maximale délivrée et donc lue sur le document de l'annexe 2 :  $P_{\max} = 200 \text{ mW}$ .

On calcule  $P_{\text{reçue}} = E \times S = 5,04 \text{ W}$  , où  $E$  est l'éclairement reçu par la cellule ( $700 \text{ W.m}^{-2}$ ), et  $S$  la surface éclairée ( $72 \text{ cm}^2$ ). Ainsi  $r = 4 \%$  : le rendement de la cellule est faible.

**Q9.** Résolution de problème : choix d'une cellule photovoltaïque performante

L'énergie portée par une onde de célérité  $c$  et de longueur d'onde  $\lambda$  est  $E = hc/\lambda$ . Ainsi  $E_1(\lambda_1) = 1,2 \text{ eV}$  ;  $E_2(\lambda_2) = 1,5 \text{ eV}$  ;  $E_3(\lambda_3) = 3,1 \text{ eV}$

- cellule « au silicium » :  $E_3 > E_2 > E_1 > E_{\text{gap}} = 1,1 \text{ eV}$  donc les trois photons sont absorbés par la cellule et on récupère l'énergie  $E_{\max} = 3 \times 1,1 = 3,3 \text{ eV}$
- cellule « triple jonction » :
  1.  $E_{\text{gap,sup}} > E_{\text{gap,inter}} > E_1 > E_{\text{gap,inf}}$  donc le photon correspondant est absorbé seulement par la couche inférieure, d'où  $1,0 \text{ eV}$  récupéré ;

- $E_{\text{gap,sup}} > E_2 > E_{\text{gap,inter}}$  donc le photon correspondant est absorbé par la couche intermédiaire (et donc n'arrive pas à la couche inférieure), d'où 1,4 eV récupéré ;
- $E_3 > E_{\text{gap,sup}} = 1,8 \text{ eV}$  donc le photon correspondant est absorbé par la couche supérieure (et donc n'arrive ni à la couche intermédiaire ni à la couche inférieure), d'où 1,8 eV récupéré.

$$\text{Bilan : } E_{\text{max}} = 1 + 1,4 + 1,8 = 4,2 \text{ eV}$$

Cellule la plus performante :

**La solution proposée ci-dessous est une proposition parmi d'autres. D'autres approches plus simples peuvent être mises en œuvre et sont valorisées.**

- La cellule la plus performante est celle qui fournit la plus grande puissance (ou la plus grande énergie pendant la durée  $\Delta t$ ). Pour comparer les deux cellules, on considérera deux cellules de même surface S.
- Seuls les photons d'énergie  $E > E_{\text{gap}}$  (soit de longueur d'onde  $\lambda < \lambda_{\text{gap}}$ ) sont absorbés : on récupère  $E_{\text{gap}}$  par photon absorbé.
- On considère qu'un photon d'énergie suffisante qui rencontre la cellule est systématiquement absorbé, sinon il traverse la cellule. Il faut donc s'intéresser au nombre de photons arrivant à la surface de la Terre et absorbés, en utilisant la courbe fournie.

Hypothèses :

- L'absorption atmosphérique est négligée (dans les IR par exemple) ;
- On considère que la cellule est orientée perpendiculairement aux rayons lumineux et qu'il n'y a pas de réflexion lumineuse au niveau de sa surface.

On appelle  $dn_\lambda$  le nombre de photons incidents sur la Terre, de longueur d'onde comprise entre  $\lambda$  et  $\lambda + d\lambda$ , par unité de temps et de surface :

$$\frac{hc}{l} \cdot dn_l = \left( \frac{dj}{dl} \right) \cdot dl \cdot (1 - A) \frac{4\rho R_S^2}{4\rho d_{ST}^2}$$

$$\frac{hc}{\lambda} dn_\lambda = \left( \frac{d\varphi}{d\lambda} \right) d\lambda (1 - A) \frac{4\pi R_S^2}{4\pi d_{ST}^2}$$

Par la suite, on note  $\left( \frac{d\varphi}{d\lambda} \right) = g(\lambda)$ .

$$\text{Ainsi } dn_l = g(l) \cdot l \cdot dl \cdot \frac{(1 - A) R_S^2}{hc d_{ST}^2} = g(l) \cdot l \cdot dl \cdot K ;$$

$$dn_\lambda = g(\lambda) \lambda d\lambda (1 - A) \frac{R_S^2}{d_{ST}^2} = g(\lambda) \lambda d\lambda K, K \approx 7,23 \cdot 10^{19} \text{ J}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \quad \text{avec les hypothèses réalisées.}$$

**Remarque :** il faut peut-être tenir compte de la réflexion à la surface de la cellule, de l'absorption éventuelle par la surface protectrice de la cellule, etc... La valeur de K s'en trouve alors modifiée, mais pas le raisonnement ni le résultat puisqu'il s'agit d'un coefficient multiplicatif.

La puissance récupérée (pour une surface S de cellule) est alors :

$$P_{\text{récupérée}} = \left( \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\text{gap}}} dn_l \right) \cdot E_g \cdot S = K \cdot E_g \cdot S \cdot \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\text{gap}}} g(\lambda) \cdot l \cdot d \lambda$$

Il faut donc déterminer  $\int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\text{gap}}} g(\lambda) \cdot l \cdot d \lambda$  pour chaque cellule et pour chaque valeur de gap.

Données utilisées :

• Pour le silicium :  $E_{\text{gap}} = 1,1 \text{ eV}$ , d'où  $\lambda_{\text{gap}} = 1,13 \mu\text{m}$  ; les longueurs d'onde  $\lambda$  telles  $\lambda_{\min} = 0,15 \mu\text{m} < \lambda < \lambda_{\text{gap}}$  seront absorbées ;

• Pour la triple jonction :

1.  $E_{\text{gap,sup}} = 1,8 \text{ eV}$  i.e.  $\lambda_{\text{gap,sup}} = 0,69 \mu\text{m}$  ; les longueurs d'onde  $\lambda$  telles  $\lambda_{\min} = 0,15 \mu\text{m} < \lambda < \lambda_{\text{gap,sup}}$  seront absorbées par la couche supérieure InGa ;

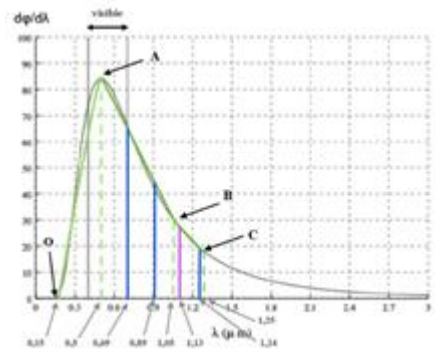
2.  $E_{\text{gap,inter}} = 1,4 \text{ eV}$  i.e.  $\lambda_{\text{gap,inter}} = 0,89 \mu\text{m}$  ; les longueurs d'onde  $\lambda$  telles  $\lambda_{\min} = \lambda_{\text{gap,sup}} < \lambda < \lambda_{\text{gap,inter}}$  seront absorbées par la couche intermédiaire GaAs ;

3.  $E_{\text{gap,inf}} = 1,0 \text{ eV}$  i.e.  $\lambda_{\text{gap,inf}} = 1,24 \mu\text{m}$  ; les longueurs d'onde  $\lambda$  telles  $\lambda_{\min} = \lambda_{\text{gap,inter}} < \lambda < \lambda_{\text{gap,inf}}$  seront absorbées par la couche inférieure InGaAs.

• Aucune longueur d'onde supérieure à  $\lambda_{\text{gap,inf}} = 1,24 \mu\text{m}$  ne sera absorbée : il n'est donc pas utile de modéliser la courbe pour ce domaine de longueur d'onde. Pour connaître  $g(\lambda)$ , on va modéliser la courbe fournie par une fonction affine par morceaux ( $g(\lambda)$  en  $\text{MW/m}^2/\mu\text{m}$  avec  $\lambda$  en  $\mu\text{m}$ ) :

A - Modélisation 1 de la courbe

- Point O : (0,15  $\mu\text{m}$ , 0  $\text{MW/m}^2/\mu\text{m}$ )
- Point A : (0,50  $\mu\text{m}$ , 85  $\text{MW/m}^2/\mu\text{m}$ )
- Point B : (1,05  $\mu\text{m}$ , 30  $\text{MW/m}^2/\mu\text{m}$ )
- Point C : (1,25  $\mu\text{m}$ , 18  $\text{MW/m}^2/\mu\text{m}$ )



- 1) segment [OA] :  $g_A(\lambda) = 242,8\lambda - 36,4$
- 2) segment [AB] :  $g_B(\lambda) = -100\lambda + 135$
- 3) segment [BC] :  $g_C(\lambda) = -60\lambda + 96$

• Cellule au silicium :

$$\frac{P_{\text{récupérée}}}{K \cdot E_g \cdot S} = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\text{gap}}} g_A(\lambda) \cdot l \cdot d \lambda + \int_{\lambda_{\text{gap,sup}}}^{\lambda_{\text{gap,inter}}} g_B(\lambda) \cdot l \cdot d \lambda + \int_{\lambda_{\text{gap,inter}}}^{\lambda_{\text{gap,inf}}} g_C(\lambda) \cdot l \cdot d \lambda$$

Bilan : on obtient alors pour une cellule au silicium :  $P_{\text{récupérée}} / S \approx 4,0 \cdot 10^2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

• Triple jonction : il faut tenir compte des trois couches

$$1) \frac{P_{\text{récupérée}}(\text{InGa})}{K \cdot E_{g,\text{sup}} \cdot S} = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\text{gap,sup}}} g_A(\lambda) \cdot l \cdot d \lambda + \int_{\lambda_{\text{gap,sup}}}^{\lambda_{\text{gap,inter}}} g_B(\lambda) \cdot l \cdot d \lambda ,$$

soit  $P_{\text{récupérée}}(\text{InGa}) / S = 2,95 \cdot 10^2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

$$2) \frac{P_{\text{récupérée}}(\text{GaAs})}{K.E_{g,\text{inter}}.S} = \int_{g,\text{sup}}^{g,\text{inter}} g_B(l).l.dl$$

$$\text{soit } P_{\text{récupérée}}(\text{GaAs}) / S = 1,42.10^2 \text{ W.m}^{-2}$$

$$3) \frac{P_{\text{récupérée}}(\text{InGaAs})}{K.E_{g,\text{inf}}.S} = \int_{g,\text{inter}}^{g_B} g_B(l).l.dl + \int_{g_B}^{g,\text{inf}} g_C(l).l.dl$$

$$\text{soit } P_{\text{récupérée}}(\text{InGaAs}) / S = 1,36.10^2 \text{ W.m}^{-2}$$

Bilan : on obtient alors pour une triple jonction,  
 $P_{\text{récupérée}} / S \approx 5,7.10^2 \text{ W.m}^{-2}$

Conclusion : La cellule « triple-jonction » est plus performante que la cellule au silicium.

B - Modélisation 2 de la courbe (découpage selon les gaps)

On approche peut-être un peu mieux la courbe sur la partie décroissante mais plus long à réaliser.

Point O : (0,15  $\mu\text{m}$ , 0  $\text{MW/m}^2/\mu\text{m}$ )

Point A : (0,50  $\mu\text{m}$ , 85  $\text{MW/m}^2/\mu\text{m}$ )

Point B : (0,69  $\mu\text{m}$ , 65  $\text{MW/m}^2/\mu\text{m}$ )

Point C : (0,89  $\mu\text{m}$ , 42  $\text{MW/m}^2/\mu\text{m}$ )

Point D : (1,13  $\mu\text{m}$ , 27  $\text{MW/m}^2/\mu\text{m}$ )

Point E : (1,24  $\mu\text{m}$ , 19  $\text{MW/m}^2/\mu\text{m}$ )

1) segment [OA] :  $g_A(\lambda) = 242,8\lambda - 36,4$

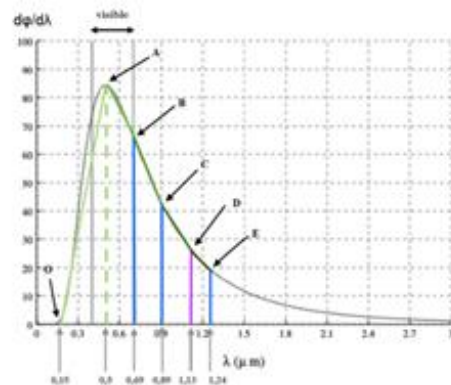
2) segment [AB] :

$$g_B(\lambda) = -135,3\lambda + 137,6$$

3) segment [BC] :  $g_C(\lambda) = -115\lambda + 144,3$

4) segment [CD] :  $g_D(\lambda) = -62,5\lambda + 97,6$

5) segment [DE] :  $g_E(\lambda) = -72,7\lambda + 109,1$



- Cellule au silicium :

$$\frac{P_{\text{récupérée}}}{K.E_g.S} = \int_{g_o}^{g_A} g_A(l).l.dl + \int_{g_A}^{g_B} g_B(l).l.dl + \int_{g_B}^{g_C} g_C(l).l.dl + \int_{g_C}^{g_D} g_D(l).l.dl$$

Bilan : on obtient alors pour une cellule au silicium  
 $P_{\text{récupérée}} / S \approx 3,6.10^2 \text{ W.m}^{-2}$

- Triple jonction : il faut tenir compte des trois couches

$$1) \frac{P_{\text{récupérée}}(\text{InGa})}{K.E_{g,\text{sup}}.S} = \int_{g_o}^{g_A} g_A(l).l.dl + \int_{g_A}^{g_B} g_B(l).l.dl$$

$$\text{on obtient : } P_{\text{récupérée}}(\text{InGa}) / S = 2,49.10^2 \text{ W.m}^{-2}$$

$$2) \frac{P_{\text{récupérée}}(\text{GaAs})}{K.E_{g,\text{inter}}.S} = \int_{g_B}^{g_C} g_C(l).l.dl$$

$$\text{on obtient : } P_{\text{récupérée}}(\text{GaAs}) / S = 1,36.10^2 \text{ W.m}^{-2}$$

$$3) \frac{P_{\text{récupérée}}(\text{InGaAs})}{K \cdot E_{g,\text{inf}} \cdot S} = \int_{/c}^{/D} g_D(l) \cdot l \cdot dl + \int_{/D}^{/E} g_E(l) \cdot l \cdot dl$$

on obtient :  $P_{\text{récupérée}}(\text{InGaAs}) / S = 1,30 \cdot 10^2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

**Bilan :** pour une triple jonction, on obtient  $P_{\text{récupérée}} / S \approx 5,2 \cdot 10^2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

**Conclusion :** la cellule « triple-jonction » est plus performante que la cellule au silicium, ce que la modélisation 1 plus simple permettait déjà de conclure.

**Q10.** Détermination du champ électrique : deux méthodes possibles sont proposées

- Première méthode : théorème de superposition avec le champ créé par un plan chargé, de dimensions infinies.

- Seconde méthode : théorème de Coulomb

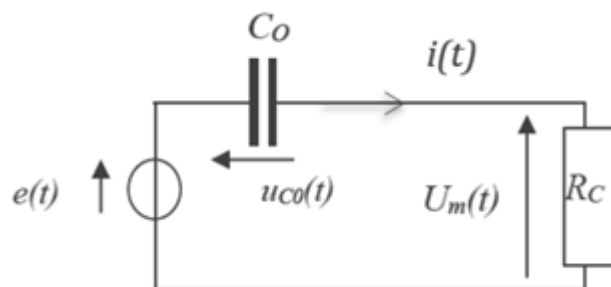
$$U = V_1 - V_2 = \int_2^1 dV = \int_2^1 -\vec{E}_{\text{INT}} \cdot d\vec{\ell} = \int_{-h/2}^{h/2} -(E_{\text{INT}})_z \cdot dz = \frac{\sigma h}{\epsilon_0}$$

$$\text{Or } \sigma = Q/S \text{ donc } U = \frac{Qh}{S\epsilon_0} = \frac{Q}{C_0}, \text{ soit } C_0 = \frac{S\epsilon_0}{h}$$

**Q11.** Le champ total est donc  $\vec{E}_{\text{TOT}} = \vec{E}_{\text{INT}} + \vec{E}_{\text{EXT}}$  ;

$$\text{alors } U = \int_2^1 -(\vec{E}_{\text{INT}} + \vec{E}_{\text{EXT}}) \cdot d\vec{\ell} = \frac{Q}{C_0} - \int_{-h/2}^{h/2} (E_{\text{EXT}})_z \cdot dz = \frac{Q}{C_0} - E_{\text{EXT}} \cdot h$$

**Q12.** Schéma électrique



$$e(t) = U_m(t) + u_{C_0}(t) ; U_m(t) = R_C \cdot i(t) ; u_{C_0}(t) = q(t) / C_0 \text{ avec } i(t) = dq(t)/dt$$

$$\text{On obtient ainsi : } \frac{dU_m(t)}{dt} + \frac{U_m(t)}{R_C C_0} = \frac{de(t)}{dt}$$

**Q13.** On se place en régime sinusoïdal forcé

- Utilisation de la notation complexe (par exemple) :

$$j\omega U_m + U_m / R_C C_0 = j\omega e \text{ puis } \underline{U_m} = \frac{h}{1 + \frac{1}{j\omega R_C C_0}} \cdot \underline{E_{\text{EXT}}}$$

$U_m$  est proportionnel à  $E_{\text{EXT}}$  si  $R_C C_0 \omega \gg 1$

- Directement à partir de l'équation différentielle :

$U_m(t) / R_C C_0$  est négligeable devant  $dU_m/dt$ , i.e  $U_m(t) / R_C C_0$  est négligeable devant  $\omega U_m(t)$ , soit encore  $\omega \gg 1 / R_C C_0$

- $R_C \gg R_{LIM} = 1 / \omega C_0$  alors  $K = h$
- $E_{\text{EXT}} = 400 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1} < 5000 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$  : les normes sont respectées.



**Q14.** Détermination de la performance énergétique,  $PE$ .

$PE = (\Phi \times \Delta t / S) = 8 \times 200 \times 24 / 100 = 384 \text{ kW.h/m}^2 \text{ par an}$ . La maison en termes de performance énergétique correspond à la catégorie F.

**Q15.** Modèle : le flux thermique est proportionnel à la différence de température.

$$\Phi' = a \times \Delta T' = \Phi \times (\Delta T' / \Delta T) = 8 \times (18 - 4) / (20 - 4) = 7,0 \text{ kW}$$

$$\% \text{ économie} = (\Phi' - \Phi) / \Phi = 12,5$$

**Q16.** Flux thermique transféré par le toit et résistance thermique du toit

	Flux thermique transféré par le toit	Résistance thermique du toit
non isolé	$0,3\Phi' = 2,1 \text{ kW}$	$6,7 \cdot 10^{-3} \text{ K.W}^{-1}$
isolé	$0,3 \Phi' / 20 = 0,11 \text{ kW}$	$1,3 \cdot 10^{-1} \text{ K.W}^{-1}$

$$R_{th,non\ isolé} = \Delta T / \Phi_{toit\ non\ isolé}$$

$$R_{th,isolé} = \Delta T / \Phi_{toit\ isolé}$$

On rappelle  $R_{th} = \frac{e}{\lambda S}$

$$e = R_{isolant} \times \lambda \times S = (R_{toit\ isolé} - R_{toit\ non\ isolé}) \times \lambda \times S$$

$$e = (1,3 \times 10^{-1} - 6,7 \times 10^{-3}) \times 3,0 \times 10^{-2} \times 115 \\ = 43 \text{ cm (ou 45 cm si on néglige } 6,7 \times 10^{-3})$$

$$\Phi_{façades} = 0,38 \times \Phi_{total} = 0,38 \times 7,0 = 2,7 \text{ kW}$$

$$\Phi_{vitrage} = U_{simple} \times S \times \Delta T = 6,5 \times 10 \times 14 = 0,91 \text{ kW}$$

$\Phi_{vitrage} / \Phi_{façades} = 34 \%$  (soit 34 % des pertes) ce qui est cohérent car 10 m<sup>2</sup> est une faible partie de la surface de la façade.

$$\Phi_{façades} = \Phi_{murs} + \Phi_{vitrage}, \text{ donc } \Phi_{murs} = \Phi_{façades} - \Phi_{vitrage} = 1,8 \text{ kW}$$

**Q17.**  $\Phi_{double} = U_{double} \times S \times \Delta T = 2,8 \times 10 \times 14 = 0,39 \text{ kW}$ . , donc

$$\Phi_{nouveau} = \Phi_{murs} + \Phi_{double} = 1,8 + 0,39 = 2,2 \text{ kW}$$

**Q18.** Le flux thermique transféré total de la maison rénovée  $\Phi_{rénovée}$  est calculé de la façon suivante :

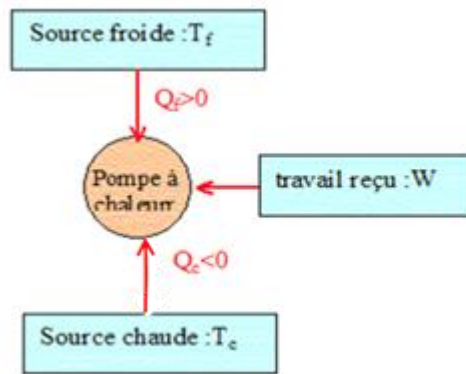
$$\Phi_{rénovée} = \Phi_{nouveau} + \Phi_{toit\ isolé} + (\Phi_{renouvellement} + \Phi_{sol} + \Phi_{ponts})$$

$$\Phi_{rénovée} = \Phi_{nouveau} + \Phi_{toit\ isolé} + 0,32 \Phi_{initial}$$

A.N:  $\Phi_{rénovée} = 2,2 + 0,11 + 0,32 \times 7 = 4,6 \text{ kW}$

Ce flux thermique correspond à la quantité de chaleur  $Q_{rénovée} = \Phi_{rénovée} \times \Delta t / S$ , soit  $Q_{rénovée} = 4,6 \times 200 \times 24 / 100 = 221 \text{ kW.h/m}^2 \text{ par an}$ , c'est-à-dire à l'étiquette de catégorie D en termes de performances énergétiques.

**Q19.** Une pompe à chaleur reçoit un transfert thermique de la source froide ( $Q_f > 0$ ) et cède un transfert thermique à la source chaude ( $Q_c < 0$ ). Cela nécessite de lui apporter du travail ( $W > 0$ ).



Le coefficient de performance ( $COP$ ) est défini par la relation  $COP = \frac{-Q_c}{W}$

Pour un cycle, selon le premier principe de la thermodynamique, le bilan énergétique pour un système fermé s'écrit :  $\Delta U = W + Q_c + Q_f = 0$  donc

$$COP = \frac{Q_c}{Q_c + Q_f} = \frac{1}{1 + \frac{Q_f}{Q_c}}$$

L'inégalité de Clausius, dans le cas d'un système fermé en contact avec  $n$  thermostats, s'écrit :  $\Delta S \geq \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{T_i}$

Pour le cycle étudié, à deux sources,  $\Delta S = 0$  donc  $\frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f} \leq 0$

Ainsi  $\frac{Q_f}{Q_c} \geq -\frac{T_f}{T_c}$  donc  $COP \leq \frac{T_c}{T_c - T_f}$

On peut calculer la valeur du coefficient de performance maximal,  $COP_{max}$  :

$COP_{max} = \frac{(273+18)}{13} = 22$  ;  $COP_{max} > 1$  ce qui explique l'intérêt d'une pompe à chaleur. **NB** :  $COP_{max}$  ici très surestimé.

**Q20.** Le codage RVB est un système de codage des couleurs. Les écrans reconstituent une couleur par synthèse additive à partir des trois couleurs primaires : Rouge, Vert, Bleu. Le codage RVB indique une valeur pour chacune de ces couleurs primaires. Chaque couleur est codée sur un octet, soit  $2^8 = 256$  valeurs possibles : de 0 à 255.

(255, 0, 0) = rouge,

(0, 0, 0) = noir,

(255, 255, 0) = R+V=jaune,

(125, 125, 125) = gris

Un pixel est codé sur 3 octets, soit sur  $3 \times 8 = 24$  bits, ce qui correspond à  $2^{24} = 16777216$  couleurs différentes.

**Q21.** Proposition d'activité «A l'aide du matériel à votre disposition, montrer qu'il est possible de changer la couleur d'un objet ».

Les élèves disposent d'objets de couleur respective : blanche, bleue, verte, jaune, rouge, magenta, cyan, noir. Ces objets sont éclairés par l'écran

numérique, successivement avec les couleurs citées précédemment. Quelle est la couleur des objets perçue.

Exemple : un objet magenta (RB) sera vu magenta en lumière blanche, rouge en lumière rouge, bleu en lumière bleue, bleu en lumière cyan, noir en lumière verte, etc...

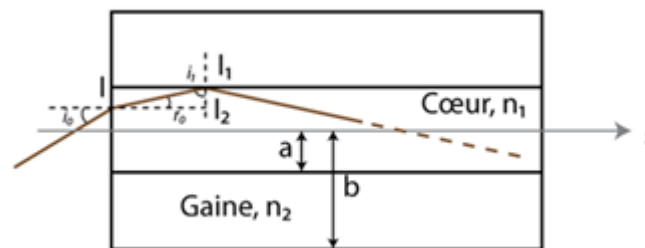
**Q22.** Une onde progressive est le phénomène de propagation d'une perturbation sans transport de matière, elle s'accompagne d'un transfert d'énergie.

Une onde mécanique nécessite un milieu matériel pour se propager ce qui n'est pas nécessaire pour une onde électromagnétique.  $\lambda = c/\nu = \frac{3,00 \cdot 10^8}{3,19 \cdot 10^{14}} = 9,40 \times 10^{-7} m = 940 nm$ ;  $940 nm > 800 nm$  donc effectivement cela correspond à un rayonnement infrarouge.

**Q23.** La courbe représentative du signal émis par la télécommande montre que la tension ne peut prendre que deux valeurs. Il s'agit d'un signal numérique.

**Q24.** La lumière laser est directive.

**Q25.** Il y a guidage dans la fibre si aux différents points  $I_1$ , il y a réflexion totale. D'après la seconde loi de Snell - Descartes pour la réfraction, il y a réflexion totale si  $\sin i_1 > \frac{n_2}{n_1}$ .



En  $I_1$ , en prenant l'indice de l'air égal à 1, on a  $\sin i_0 = n_1 \cdot \sin r_0$  et  $r_0 = \pi/2 - i_1$ ; on en déduit :  $\sin i_0 = n_1 \cdot \cos i_1$ . De plus, comme  $(\cos x)^2 + (\sin x)^2 = 1$ , on peut écrire  $\sin i_0 = n_1 \sqrt{1 - (\sin i_1)^2}$ . Ainsi  $\sin i_0 < n_1 \sqrt{1 - \frac{n_2^2}{n_1^2}}$ .

On a donc  $i_0 < i_m$  avec  $\sin i_m = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = O.N.$

A.N :  $O.N. = 0,21$  : cela correspond à  $i_m = 12^\circ$  ce qui n'est pas très grand : le confinement du rayon est un peu délicat à réaliser.

**Q26.** On cherche à savoir au bout de combien de kilomètres il faudrait prévoir une amplification optique intermédiaire pour garder des signaux satisfaisants en supposant que l'on se place à la longueur d'onde de 1550 nm.

Au moment où il faut prévoir l'amplification,  $P_{sortie} = 0,01 \cdot P_{entrée}$ . Grâce à l'annexe 3, on obtient  $A_{dB} = 20 dB$  et  $A_{dB} = \alpha \cdot L$ . La valeur de  $\alpha$  est obtenue par lecture du graphe de l'annexe 3, en se plaçant à la longueur d'onde 1550 nm :  $\alpha = 0,2 dB/km$ . On en déduit que  $L = \frac{20}{0,2} = 100 km$ . Une amplification est donc nécessaire pour des transmissions d'information sur de très longues

distances, mais pas pour des transmissions à l'échelle d'une ville ou d'une maison.

**Q27.**

- Durée d'une impulsion en sortie :  $T_S = T_e + \delta T$  où  $\delta T$  est l'élargissement de l'impulsion, c'est à dire l'intervalle de temps en sortie entre le rayon qui a traversé la fibre le plus rapidement et celui qui a mis le plus de temps :  $\delta T = T_2 - T_1$ .

$T_1$  correspond au rayon « le plus rapide » donc à celui qui a l'incidence nulle :

$T_1 = \frac{n_1 L}{c}$  ;  $T_2$  correspond au rayon « le plus lent » donc à celui qui a l'incidence  $i_m$ . Il suffit alors de remplacer dans l'expression de  $T_1$ ,  $L$  par  $L/\cos r_m$  avec  $\cos r_m = \sin i_{1m} = n_2/n_1$  ; alors  $T_2 = \frac{n_1^2 L}{n_2 c}$ . L'élargissement s'écrit alors

$\delta T = \frac{n_1 L}{c} \left( \frac{n_1}{n_2} - 1 \right)$  et vaut  $\delta T = L \times 5 \cdot 10^{-11}$  (en s) donc  $T_e \ll \delta T$  donc

$$T_S = T_e + \delta T \approx \delta T$$

Le signal est correct en sortie si les impulsions en sortie ne se recouvrent pas. Il

n'y a pas recouvrement si  $T = 1/f > T_S$  :  $f < \frac{1}{\delta T} = \frac{c}{n_1 L \left( \frac{n_1}{n_2} - 1 \right)}$  donc

$L < \frac{c}{n_1 f \left( \frac{n_1}{n_2} - 1 \right)} = L_{max}$ . On obtient  $L_{max} = 198 \text{ m}$  soit environ 200 m.

**Q28.** Résolution de problème : longueur maximale d'une fibre permettant de transmettre un signal sans recouvrement d'impulsions

1) Caractéristiques d'un son émis par un diapason

1.a On mesure 5 périodes pour obtenir une plus grande précision :  $5T = 11,5 \text{ ms}$  d'où  $T = 2,30 \text{ ms}$

On en déduit la fréquence  $f = 1/T = 1/2,30 \times 10^{-3} = 435 \text{ Hz}$

1.b Spectre en fréquence : un seul pic à 440,4 Hz. La fréquence du signal est donc 440 Hz

1.c Le son émis par le diapason est un son pur car il y a un seul pic sur le spectre en fréquence : le fondamental.

1.d Sa hauteur est 440 Hz et la note correspondante est un La3.

2) Analyse de la même note émise par un piano

2.a Voir copie élève

2.b Le son est complexe car son spectre en fréquence contient plusieurs pics.

2.c Ces pics sont régulièrement espacés. Le pic de fréquence la plus faible sous multiple des autres est le fondamental : il a une fréquence de 440 Hz, c'est la fréquence du son. Le son est de même hauteur que le diapason.

2.d Les harmoniques sont les sons purs de fréquence multiple de celle du fondamental. Le timbre du son est lié au nombre et à l'amplitude des différents harmoniques.

### 3) Synthétiser un son

3.a Le son du piano correspond à un signal qui est la somme des signaux sinusoïdaux de fréquence  $f_n = n \times 440 \text{ Hz}$  et d'amplitude  $s_n$  à lire sur le spectre.

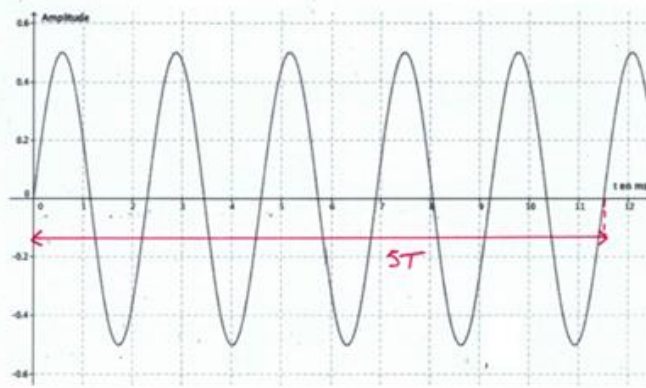
$$u(t) = 90\sin(2\pi \times 440t) + 60\sin(2\pi \times 880t) + 20\sin(2\pi \times 1320t) + 10\sin(2\pi \times 1760t) + 20\sin(2\pi \times 2200t)$$

3.b Après avoir entré cette fonction dans le logiciel et l'avoir écouté, on constate que le son est proche du son du piano mais légèrement différent. Il manque des harmoniques d'une part et les phases à l'origine ne sont pas connues.

#### Q29. Proposition de compte-rendu annoté

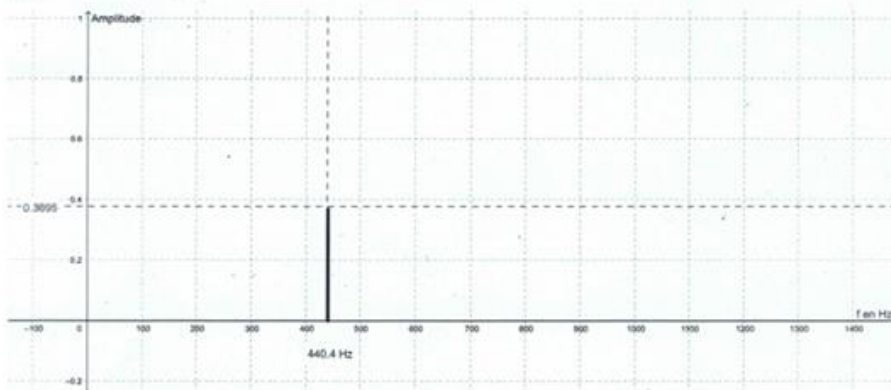
##### 1) Caractéristiques d'un son émis par un diapason

1-a Voici la courbe que l'on obtient :



À l'aide du réticule on mesure  $T = 2,3 \text{ ms}$ . *il faut faire la mesure de plusieurs périodes pour une meilleure précision :  $ST = 11,5 \text{ ms}$*   
 On en déduit la fréquence.  $f = 1/T = 1/2,3 = 0,435 \text{ Hz}$ .  *$f = \frac{1}{2,3 \cdot 10^{-3}} = 4,3 \cdot 10^2 \text{ Hz}$  : la période doit être en s*  
*attention à la cohérence des chiffres significatifs : 2 pour T donc 2 pour f*

1-b



Le spectre en fréquence ne présente qu'un seul pic à 440,4 Hz. *ai*

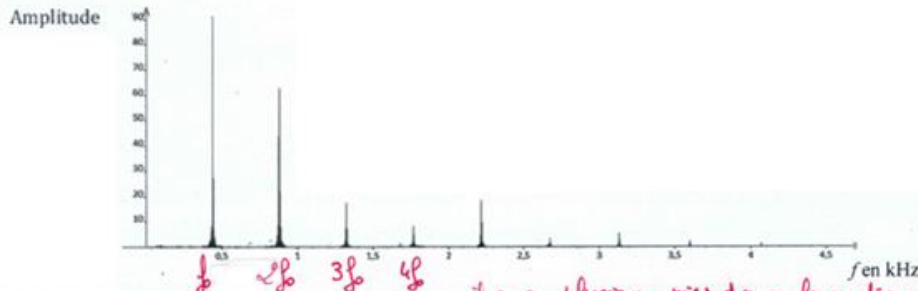
1-c Le son émis par le diapason est un son pur car le signal est sinusoïdal car le signal temporel est sinusoïdal (il n'y a qu'un seul pic sur le spectre en fréquence)

1-d La hauteur du son est 0,3695 et la note est proche du « la » (440 Hz). *Bien*

- la hauteur d'un son est la fréquence du fondamental
- ce que vous donnez est l'amplitude du fondamental

## 2) Analyse de la même note émise par un piano

2-a



2-b Le son du piano est un son complexe car son signal temporel n'est pas périodique.

2-c Le son n'est pas de même hauteur que le diapason car la hauteur du premier pic est différente (0,3695 au lieu de 90). *il y a plusieurs pics dans le spectre en présence*

2-d Un harmonique est un son de fréquence multiple. Le timbre est...

3-a Voici une fonction mathématique permettant de modéliser ce son :

$u(t) = U_1 \times \sin(2 \times \pi \times 440 \times t) + U_2 \times \sin(2 \times \pi \times 880 \times t)$ . *on dirait mais il faut davantage d'harmoniques*

3-b J'ai rentré cette fonction dans le logiciel mais je n'obtiens aucun son. Le logiciel m'indique que la formule est fautive. Je ne comprends pas pourquoi. *il faut rentrer les valeurs des amplitudes pour que le logiciel fonctionne.*

*ici la fréquence du fondamental est environ 450 Hz ( $f_0$ ) : on peut donc dire que les hauteurs sont identiques*

*un harmonique est un son pur de fréquence multiple de la fréquence du fondamental :  $f_n = n \times f_0$*

*le timbre est lié au nombre et à l'amplitude des différents harmoniques*

3a.) expliquez ce que vous faites

2) les valeurs  $U_1, U_2, \dots$  doivent être lues sur le spectre en fréquence :

$$U_1(f_0) = 90; U_2(2f_0) = 63; U_3(3f_0) = 27; \dots$$

### Q30. Quelques propositions :

- Modifier le programme pour que le son synthétisé possède 3 harmoniques :

Ligne 23 :  $\text{signal} = A_0 \times \sin(f_0 \times K \times t) + A_1 \times \sin(2 \times f_0 \times K \times t) + A_2 \times \sin(3 \times f_0 \times K \times t)$  en ayant défini  $A_2$  au début

- Modifier le programme pour qu'il s'agisse d'un son pur correspondant au sol# :

Ligne 10  $f_0 = 515.31$

Ligne 23  $\text{signal} = A_0 \times \sin(f_0 \times K \times t)$

- Modifier le programme pour que le son synthétisé possède un fondamental d'amplitude nulle :

Ligne 23  $\text{signal} = 0 \times \sin(f_0 \times K \times t) + A_1 \times \sin(2 \times f_0 \times K \times t)$

**Q31.** On considère un petit élément de corde compris entre  $x$  et  $x + dx$ . Le poids étant négligeable et les mouvements transversaux, la relation fondamentale de la dynamique appliqué à cet élément s'écrit :  $\mu \cdot dx \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \vec{e}_y = \vec{T}(x + dx, t) - \vec{T}(x, t)$  où  $\vec{T}(x, t)$  est la tension exercée en  $x$  par la partie de la corde à droite de  $x$  sur la partie gauche à gauche de  $x$ .

Projection selon  $Ox$  :

$0 = T_x(x + dx, t) - T_x(x, t)$ . Ainsi  $T_x(x, t)$  est indépendant de  $x$  ; or  $T_x(x, t) = T(x, t) \cos \alpha(x, t) \approx T(x, t)$  puisqu'il s'agit de petits mouvements. Donc  $T(x, t)$  est

indépendant de  $x$  :  $T(x, t) = T(x = 0, t) = T_0$

Projection selon  $Oy$  :

$\mu \cdot dx \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = T_y(x + dx, t) - T_y(x, t)$ . Ainsi  $\mu \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{\partial T_y(x, t)}{\partial x}$  et  $T_y(x, t) = T_0 \sin \alpha(x, t)$ .

Dans le cadre des petits mouvements  $\sin \alpha(x, t) \approx \tan \alpha(x, t) = \frac{\partial y}{\partial x}(x, t)$ . On obtient alors l'équation demandée : il s'agit de l'équation de d'Alembert.

La déformation  $y(x, t)$  de la corde est perpendiculaire à la direction de propagation de cette déformation (selon  $Ox$ ) : l'onde est transversale.

**Q32.**  $T_0 = mg = 850 \text{ N}$

$$\mu = \frac{m_{\text{corde}}}{L} = \frac{\rho \cdot \pi \cdot \frac{d^2}{4} L}{L} \text{ donc } c_{\text{corde}} = \sqrt{\frac{4T_0}{\rho \cdot \pi \cdot d^2}} = \sqrt{\frac{T_0}{\mu}} = 3,4 \cdot 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

**Q33.** On étudie à des ondes stationnaires : la fréquence d'un mode propre  $n$  est  $f_n = n \frac{c_{\text{corde}}}{2L}$  (1 nœud à chaque extrémité donc  $L = n\lambda/2$ ). On s'intéresse à la hauteur du son donc au fondamental :  $n = 1$  donc  $f_1 = f = \frac{c_{\text{corde}}}{2L}$ .

En supposant que les cordes sont toutes tendues de la même façon et réalisées dans le même matériau, on peut considérer que  $c_{\text{corde}}$  est une constante et  $\frac{c_{\text{corde}}}{2} = f_{D03} \cdot L_{D03} = f_{La0} \cdot L_{La0}$  donc  $L_{La0} = \frac{f_{D03} \cdot L_{D03}}{f_{La0}} = 6,1 \text{ m}$ . Ce qui est irréalisable. Comme  $f = \frac{c_{\text{corde}}}{2L}$ , en prenant une longueur de corde assez grande,

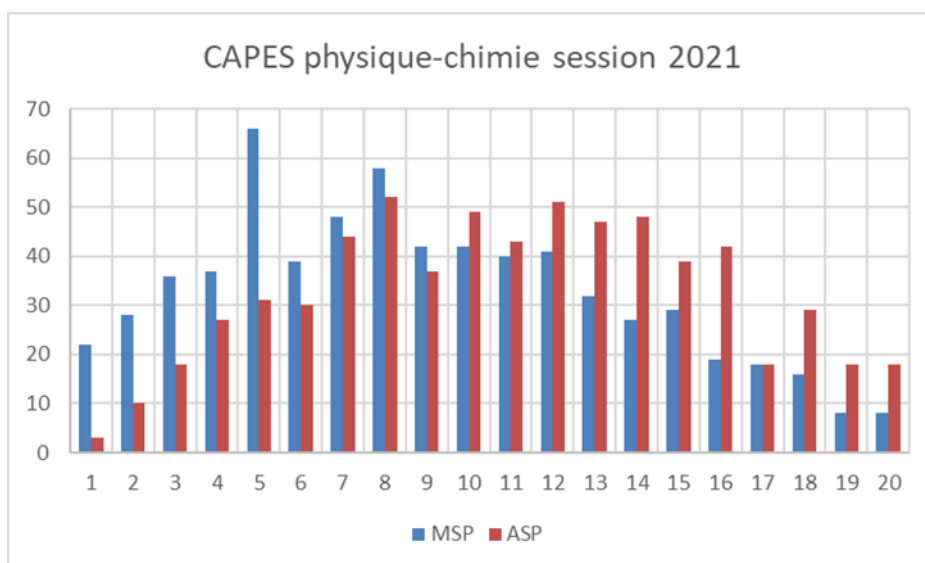
il faudrait donc également avoir une célérité  $c_{\text{corde}}$  faible. Comme  $c_{\text{corde}} = \sqrt{\frac{T_0}{\mu}}$ , on peut augmenter  $\mu$  : en enroulant un fil de cuivre, on augmente le diamètre  $d$  du fil ainsi que la masse volumique de la corde ce qui, d'après l'expression donnée à la question 33, permet d'augmenter  $\mu$ .

## 5. Résultats et rapports des deux épreuves orales

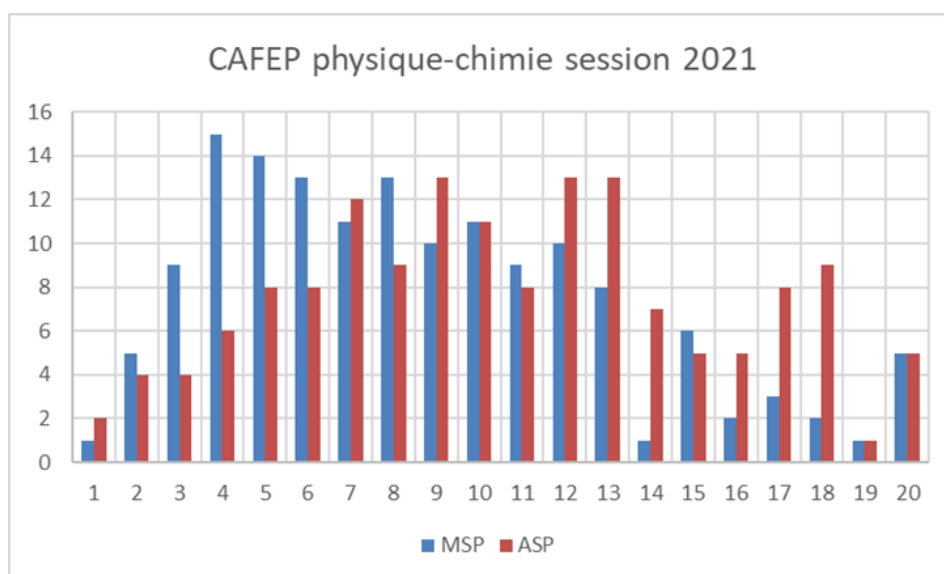
### 5.1 Résultats des deux épreuves orales

Les distributions des notes obtenues pour les épreuves d'admission pour chacun des deux concours sont présentées dans les figures 4 et 5. Concernant les candidats au CAPES, la distribution de leurs notes obtenues en épreuve d'ASP est caractérisée par une moyenne de 11,0 /20 et un écart-type égal à 4,6 ; la distribution de leurs notes obtenues en épreuve de MSP est caractérisée par une moyenne de 8,9 /20 et un écart-type égal à 4,7. Concernant les candidats au CAFEP, la distribution de leurs notes obtenues en épreuve d'ASP est caractérisée par une moyenne de 10,6/20 et un écart-type égal à 4,8 ; la distribution de leurs notes obtenues en épreuve de MSP est caractérisée par une moyenne de 8,7/20 et un écart-type égal à 4,5. Le jury constate donc que les tendances des résultats pour les deux concours sont similaires. Par ailleurs, les résultats montrent que l'épreuve de MSP est sensiblement moins bien réussie par les candidats, en raison peut-être d'une conséquence plus notable sur leur préparation pratique au concours due à l'organisation des enseignements lors de la période pandémique bien qu'il s'agisse d'un trait commun déjà identifié lors de sessions précédentes. Enfin, le jury constate un étalement satisfaisant de des différentes distributions des notes, dénotant notamment que certains candidats ont su

démontrer leurs compétences expérimentales, disciplinaires et pré-professionnelles lors de leurs épreuves d'admission. Le jury tient à les en féliciter.



**Figure 4** : histogramme des notes obtenues aux deux épreuves écrites pour le CAPES. La répartition des notes de MSP est figurée en bleu, celle des notes d'ASP en rouge.



**Figure 5** : histogramme des notes obtenues aux deux épreuves écrites pour le CAFEP. La répartition des notes de MSP est figurée en bleu, celle des notes d'ASP en rouge.

## 5.2 Conseils aux futurs candidats concernant les épreuves orales d'admission

Les candidats doivent garder présent à l'esprit qu'enseigner au niveau du collège ou du lycée nécessite une maîtrise des notions afférentes à un niveau supérieur. Les candidats doivent également s'appropriier les nouveaux outils numériques présents dans les nouveaux programmes de lycée : mise en œuvre de microcontrôleurs et connaissances de bases du langage de programmation en langage Python.



Le jour de l'oral, il leur est conseillé, quelle que soit l'épreuve, de dégager durant la phase de préparation un temps suffisant pour relire les programmes, identifier les concepts mis en jeu par le sujet et réactiver le cas échéant les savoirs et savoir-faire associés.

Au cours de la présentation, les objectifs d'enseignement nécessitent d'être clairement identifiés en lien étroit avec les programmes officiels. La connaissance des compétences de la démarche scientifique est nécessaire : il ne s'agit pas uniquement de les citer mais de relier précisément chacune d'elle aux différentes tâches proposées. Lorsqu'une évaluation par compétences est prévue par le candidat, il est attendu qu'il explicite les niveaux de maîtrise visés et les indicateurs de réussite associés.

Les problématiques d'organisation et de gestion du travail des élèves doivent être abordées sans pour autant occuper l'essentiel de la présentation ; le jury valorise les candidats qui décrivent clairement et de manière concise les tâches dévolues aux élèves, identifient les difficultés susceptibles d'être rencontrées et proposent des pistes concrètes de remédiations. Une première réflexion sur la différenciation ou l'accompagnement des élèves à besoins particuliers est également attendue lorsque cela est pertinent.

Si les manuels scolaires peuvent être source d'inspiration, il est essentiel de s'appropriier avec esprit critique les manipulations ou les activités qui y sont proposées. De façon générale, il est préférable de ne pas restreindre les consultations à un seul ouvrage et de se référer aussi à des ouvrages de l'enseignement supérieur. Pour certaines séries technologiques, des ressources numériques sont à la disposition des candidats.

Les contextualisations en lien avec la vie quotidienne, l'actualité scientifique, l'histoire des sciences ou le choix d'orientation des élèves, sont valorisées. De manière générale, les contextualisations proposées gagnent à être authentiques, concises et bien adaptés aux objectifs visés par le candidat lors de sa présentation.

La préparation d'un support visuel peut aider le candidat à structurer son exposé. Certaines présentations fluides et dynamiques, s'achevant par une conclusion proposant un retour sur la consigne du sujet ont été particulièrement remarquées et valorisées.

Les écrits doivent être soignés ; une attention particulière doit être accordée à l'orthographe, les sources nécessitent d'être citées lorsqu'un document est vidéoprojeté. Les modalités d'utilisation du tableau sont voisines de celles du contexte de la classe : calculs menés de façon explicite depuis l'expression littérale jusqu'à l'application numérique ; l'utilisation de la calculatrice est déconseillée lorsque ce n'est pas indispensable.

Une véritable maîtrise de la syntaxe et l'utilisation d'un vocabulaire précis et rigoureux sont attendues. Le candidat doit veiller à conserver en toutes circonstances un niveau de langue adapté à la fonction de professeur.

Une présentation trop courte n'est pas toujours signe d'une maîtrise insuffisante du sujet mais elle révèle souvent une prise en compte incomplète des consignes. Le jury recommande aux candidats d'utiliser la quasi-totalité du temps imparti pour répondre à la totalité des attendus et présenter de façon suffisamment approfondie les différents aspects de leur réflexion.

Au cours de l'entretien qui suit les présentations, le jury recommande au candidat d'écouter attentivement les questions afin de construire un véritable temps d'échange. Les réponses concises et précises sont les plus appréciées et valorisées par le jury.

Enfin, le jury déconseille aux candidats de s'auto-évaluer à l'issue d'une épreuve et leur recommande de se présenter aux deux épreuves quand bien même la première épreuve ne leur aurait pas donné satisfaction.

### **5.3. Rapport sur l'épreuve de mise en situation professionnelle à dominante chimie**

#### **5.3.1 Organisation de la présentation**

De nombreux candidats ne présentent pas d'expérience quantitative accompagnée du traitement numérique des mesures. Le jury souligne que de nombreuses expériences présentées par les candidats sont directement issues de manuels scolaires, sans être adaptées au sujet et sans être totalement maîtrisées. Par ailleurs, la présentation ne peut pas se réduire à une suite d'expériences décorrélées d'un contexte de classe.

Le jury souligne que certains candidats font peu mention des mises en situations pratiques en classe lors de leur présentation, ce qui ne permet pas de répondre totalement aux attendus de cette épreuve. Le jury apprécie en effet que le candidat ait réfléchi aux questions d'organisation au sein de la classe.

#### **5.3.2. Expérimentation**

Les principes de fonctionnement et l'étalonnage des appareils de mesures doivent être maîtrisés. Ainsi, une connaissance des différentes électrodes utilisées en pH-métrie et en conductimétrie est nécessaire. En spectrophotométrie, le principe doit être connu.

L'utilisation d'un logiciel d'acquisition est courant, il est important que le candidat choisisse correctement et justifie les paramètres d'acquisition (nombre de points, durée d'acquisition, fréquence d'échantillonnage, échelles...).

Les règles de sécurité au laboratoire ainsi que les informations relatives à la dangerosité des produits chimiques doivent être connues et appliquées. À titre d'exemple, suite à la présentation des dangers liés au cyclohexane, certains candidats le manipulent hors de la sorbonne de laboratoire. L'utilisation de solvants CMR doit être raisonnée et les éléments de verrerie contenant ces solvants doivent être fermés hermétiquement. Par ailleurs, la question de la gestion des déchets doit être envisagée. L'utilisation de certains équipements de protection tels que les gants doit être réfléchi, il n'est pas judicieux de les conserver pendant certaines phases de la présentation telles que l'utilisation d'un ordinateur ou la notation d'informations au tableau.

Certains candidats qui ont suivi de manière automatique les protocoles proposés dans un ouvrage sont parfois incapables d'en justifier les différentes étapes ni les choix opérés. Cette pratique risque de pénaliser le candidat qui doit faire preuve d'analyse et d'esprit critique. Un candidat doit être capable de justifier, entre autres, ses choix quant aux prises d'essai, aux masses des réactifs introduits, à l'éluant retenu pour une CCM, à la transformation chimique effectuée lors d'une synthèse, à la réaction chimique support d'un titrage ou à la méthode de suivi lors d'une étude cinétique.

#### **5.4. Rapport sur l'épreuve d'analyse d'une situation professionnelle à dominante chimie**

##### **5.4.1. Organisation de la présentation**

Il est nécessaire que le candidat consulte systématiquement les référentiels des programmes. Les ouvrages utilisés sont principalement des manuels scolaires du second degré. Il est recommandé que le candidat complète sa bibliographie par des ouvrages d'un niveau universitaire.

Certains candidats passent visiblement plus de temps à préparer un diaporama qu'à traiter le sujet proposé. On peut regretter que certains candidats n'utilisent pas leur temps maximal de présentation ; il est toutefois inutile de vouloir à toutes forces combler le temps restant si la présentation cohérente a été finalisée convenablement. Pour ceux qui utilisent pleinement les 30 minutes, un choix doit parfois être réalisé en fin de présentation afin de conclure dans de bonnes conditions.

Le jury constate que l'usage des différents outils de communication et de présentation (flexcam, vidéoprojecteur, tableau, power point...) est pratiqué à bon escient par de nombreux candidats.

Des consignes accompagnent le sujet de l'épreuve : il est attendu du candidat qu'il traite plus systématiquement l'ensemble de celles-ci.

Dans la présentation, comme dans l'entretien, le jury constate que la place de l'élève s'avère être souvent insuffisamment abordée ; la mise en groupe des élèves est souvent évoquée, mais la réflexion s'appuie rarement sur une logique collective d'établissement, notamment concernant l'accompagnement des élèves à besoins particuliers. Ainsi, la différenciation est rarement mentionnée.

##### **5.4.2. Aspects disciplinaires**

Les candidats portent rarement un regard critique sur les documents fournis. Une réflexion sur la plus-value apportée par l'utilisation du langage de programmation Python mérite être menée. La mise en avant des compétences de la démarche scientifique est systématiquement présente mais l'explicitation des observables et des critères de réussite sont rares. Les candidats qui ne se projettent pas dans le métier et qui se contentent de corriger des activités sans tenir compte d'aucun contexte pédagogique ou professionnel ont rarement une note satisfaisante en ASP. En collège, la connaissance du socle commun de connaissances, de compétences et de culture et des compétences exigibles identifiées dans les programmes sont rarement exploitées.

## **5.5. Rapport sur l'épreuve de mise en situation professionnelle à dominante physique**

Le contexte sanitaire particulier de la préparation du concours explique sans doute la moindre maîtrise des savoir-faire expérimentaux constatée même si le jury a pu assister à des présentations témoignant d'une excellente maîtrise expérimentale allée à une réflexion didactique et pédagogique approfondie.

### **5.5.1. Organisation de la présentation**

Les activités et expériences proposées gagnent à s'organiser dans le cadre d'une séquence pédagogique structurée, construite dans l'esprit des programmes tels qu'ils sont décrits dans les bulletins officiels (BO). Il est donc indispensable que le candidat identifie précisément l'extrait du BO sur lequel porte la mise en situation professionnelle afin de présenter ce qui est attendu en évitant le hors-sujet.

Les tâches dévolues aux élèves, les difficultés susceptibles d'être rencontrées et les apports théoriques attendus doivent être explicités. Durant sa présentation, le jury conseille au candidat d'identifier les compétences travaillées dans le cadre de la démarche scientifique. Le candidat est également invité à présenter ses critères d'évaluation ; cette dernière ne peut pas exclusivement porter sur le compte-rendu. Enfin, il est attendu du candidat qu'il montre qu'il se projette déjà dans une situation réelle enseignement : par exemple orienter les façades des appareils ou les écrans de telle façon qu'ils soient visibles par le jury. Il est en revanche inutile de s'adresser aux membres du jury comme s'ils étaient des élèves.

### **5.5.2. Expérimentation**

Les manipulations proposées ne doivent pas apparaître comme une série « d'exercices imposés » mais s'insérer dans une démarche scientifique construite. Leur sens doit être explicité et les résultats exploités en lien avec des modèles théoriques explicités. Il est en particulier attendu la réalisation et l'exploitation complète d'au moins une expérience quantitative pendant le temps de préparation. Le candidat ne doit pas hésiter à se reporter aux notices techniques qui sont à sa disposition.

Dans la mesure du possible, il est vivement recommandé au candidat d'effectuer ou de reproduire quelques mesures devant le jury. Une différenciation claire entre les résultats attendus et les résultats obtenus est valorisée. Le candidat doit garder présent à l'esprit que faire preuve de cette honnêteté intellectuelle, c'est une forme d'exemplification des valeurs de la République dans le cadre d'un enseignement scientifique.

Le passage de l'expérimentation à la modélisation nécessite souvent une étape de schématisation de la situation : il est attendu que la présentation du dispositif utilisé et l'introduction des paramètres pertinents soient celles qui pourraient être proposées en classe. Il est également recommandé au candidat de bien faire la différence entre une expérimentation et une simulation : si les deux ont leur intérêt dans la construction des concepts de la physique-chimie, ils ne doivent en aucun cas être confondus dans le cadre de la mise en œuvre de la démarche scientifique. Sur ce point, de graves confusions ont été relevées lors de la prestation de certains candidats.

Une attention particulière est à apporter aux acquisitions, par exemple en matière de choix des appareils et dispositifs de mesures, de justification des réglages des paramètres, en particulier l'échantillonnage. Lors de l'épreuve, le candidat doit également faire preuve de vigilance, par exemple vérifier la nature du signal à l'entrée d'un filtre avant d'étudier le signal de sortie.

En optique, un grand soin doit être apporté à la formation des images. On attend qu'un futur enseignant sache produire l'image d'une fente source par une lentille convergente, qu'il distingue prisme et réseau et qu'il utilise à bon escient les termes de dispersion, diffraction ou réfraction.

En mécanique, il est attendu que les expériences classiques soient maîtrisées sur le plan théorique (explicitation des modèles du pendule simple, de la chute libre...) et bien exploitées (interprétation de mesures probantes en termes de bilans de forces ou d'énergies).

Enfin, une réflexion pertinente sur la thématique « mesure et incertitude » est attendue. De façon générale, on se reportera aux préconisations des programmes officiels et des ressources associées pour, par exemple, estimer l'incertitude-type sur le résultat d'une mesure.

## **5.6. Rapport sur l'épreuve d'analyse d'une situation professionnelle à dominante physique**

### **5.6.1. Organisation de la présentation**

Il est conseillé au candidat de lire attentivement les consignes, en s'attachant aux termes employés. Durant la présentation, il est nécessaire qu'il précise très exactement à quelle question il répond. Une présentation structurée, fluide et dynamique est attendue en réponse aux consignes. Elle doit mettre en relief les ouvertures et apports proposés par le candidat. Les supports visuels aident à la construction de l'exposé. Le jury attend également du candidat une exploitation des éléments de contexte proposés.

Le cas échéant, il est attendu que le candidat envisage des travaux interdisciplinaires ou prenne en compte des spécificités des séries technologiques. Les prestations des candidats qui analysent une situation professionnelle de cycle 4 en se référant au socle commun de connaissances, de compétences et de culture sont valorisées.

L'organisation et la gestion du travail des élèves doivent être au cœur de la présentation. Le candidat est invité à porter un regard critique sur les documents proposés ; il s'agit notamment d'anticiper les difficultés d'apprentissage qui peuvent être rencontrées par les élèves. Le candidat doit s'interroger : les ressources proposées s'insèrent-elles dans une progression ? peuvent-elles être exploitées au niveau considéré et dans le temps imparti ? Une réorganisation des documents et des activités a parfois été proposée à très bon escient par les candidats. Toute proposition aboutie d'activités de différenciation pédagogique ou de remédiation est valorisée.

Pendant l'échange, il peut être présenté au candidat des situations dans lesquelles les valeurs de la République pourraient être remises en cause dans le cadre de son

enseignement. Il est alors appelé à se positionner de manière adaptée à la fonction de professeur.

### **5.6.2. Aspects disciplinaires**

Le jury attend une prise de recul par rapport aux lois et théorèmes utilisés : il s'agit de connaître leur origine, leurs conditions d'application, les modèles dont ils sont issus et les limites de ces modèles. De la même façon, les candidats capables de proposer d'autres contextualisations des notions abordées que celles proposées ont été valorisés.

Un regard critique doit pouvoir être porté sur les valeurs numériques obtenues par le calcul et exprimées avec un nombre de chiffres qui soit significatif. Le jury apprécie l'usage d'un vocabulaire scientifique, pédagogique et didactique précis et adapté. Il est par exemple attendu que « chaleur et température » ou « énergie et puissance » ne soient pas confondues.

Lorsque la correction d'un exercice est demandée, le candidat doit se positionner comme un enseignant et veiller à ce qui est écrit au tableau ou vidéoprojeté ait une forme proche de ce qui serait présenté à une classe. Les schémas d'optique soigneusement tracés durant la préparation par quelques candidats ont été appréciés. De même, la réalisation de schémas en mécanique a été valorisée : que ce soit durant la présentation ou durant l'échange avec le jury, une projection de vecteurs ne prend sens que si elle est accompagnée d'un schéma sur lequel sont représentés les axes de projection et les grandeurs physiques modélisées par des vecteurs.

### **5.7. Conclusion**

Le jury souhaite insister sur le poids de la préparation dans la réussite à des concours comme le CAPES ou le CAPEP de physique-chimie. Cette préparation est un équilibre subtil entre différentes composantes : maîtrise des savoirs et savoir-faire disciplinaires dont la composante expérimentale, maîtrise de certaines composantes de la didactique de la discipline, maîtrise de la langue française ainsi qu'une première appréhension de composantes plus professionnelles – analyse d'une situation d'enseignement, organisation d'un groupe d'élèves en situation d'apprentissage, évaluation des acquis des élèves...

Le jury relève que si certains candidats font preuve de certains manquements parfois graves, notamment sur le plan disciplinaire, d'autres attestent au contraire de grandes qualités et maîtrisent déjà les principales compétences que l'on peut raisonnablement évaluer à ce stade de leur parcours ; le jury tient à les féliciter.

## **6. À propos de la session 2022**

### **6.1. Programme de la session 2022**

Le programme des épreuves est constitué des programmes de physique et de chimie du collège, du lycée (voies générale et technologique) et des enseignements post-baccalauréat (sections de techniciens supérieurs et classes préparatoires aux grandes écoles). Les notions traitées dans ces programmes doivent pouvoir être abordées au niveau M2 du cycle master. L'arrêté du 25 janvier 2021 fixe les modalités

d'organisation des concours du certificat d'aptitude au professorat de l'enseignement du second degré à partir de la session 2022.

## **6.2. Épreuves d'admissibilité**

La première épreuve, « épreuve disciplinaire », d'une durée de cinq heures est affectée d'un coefficient 2. Elle est constituée de deux parties d'égale importance, l'une à dominante physique, l'autre à dominante chimie. Les candidats rendent deux copies séparées pour chacune des deux parties de l'épreuve.

La seconde épreuve, « épreuve disciplinaire appliquée », d'une durée de cinq heures, est affectée d'un coefficient 2. Elle traite de manière équilibrée des concepts de physique et de chimie, à l'aide d'un corpus varié de documents. Elle vise à mettre en évidence et à évaluer la capacité des candidats à analyser les documents proposés et à mobiliser des savoirs disciplinaires et didactiques dans le cadre de la construction d'une séquence d'enseignement au niveau du collège ou du lycée, pouvant revêtir un caractère expérimental.

Le jury rappelle que des exemples de sujets ont été produits en amont de la session 2022, et sont disponibles à l'adresse suivante :

<https://www.devenirenseignant.gouv.fr/cid157873/sujets-zero-2022.html>

## **6.3. Épreuves d'admission**

La définition des deux nouvelles épreuves d'admission prévues à partir de la session 2022 sont indiquées ci-dessous, telles que définies dans l'arrêté du 25 janvier 2021 cité précédemment.

La première épreuve ou « épreuve de leçon » est affectée d'un coefficient 5. Une durée de la préparation de trois heures est prévue. L'épreuve elle-même face au jury dure 70 minutes maximum, est constituée de trois parties : i) une présentation de 30 minutes maximum, ii) un entretien consécutif à la présentation avec le jury de 20 minutes maximum, iii) le traitement d'une question courte et d'un échange avec le jury sur la question traitée pendant 20 minutes maximum. L'épreuve a pour objet la conception et l'animation d'une séance d'enseignement. Elle permet d'apprécier le niveau de maîtrise des compétences disciplinaires pédagogiques et expérimentales. Le candidat élabore et présente une séance pédagogique à caractère expérimental à dominante physique ou chimie sur un sujet proposé par le jury. Il met en œuvre des expériences de manière authentique, dans le respect des conditions de sécurité, et en effectue une exploitation pédagogique pour les classes de collège ou de lycée. Une au moins de ces expériences doit être quantitative et une au moins doit mobiliser l'outil numérique pour l'acquisition ou le traitement de données. L'entretien avec le jury qui suit la présentation du candidat permet à celui-ci de justifier ses choix scientifiques, didactiques et pédagogiques. L'épreuve s'achève par le traitement sans préparation d'une courte question à enjeux didactiques ou pédagogiques (analyse d'un protocole expérimental, d'un exercice, d'une production d'élèves, etc.) proposée par le jury dans la partie du champ disciplinaire (physique ou chimie) n'ayant pas fait l'objet du sujet de la leçon, suivi d'un échange avec le jury sur cette question.

La seconde épreuve ou « épreuve d'entretien » dure trente-cinq minutes, et est affectée d'un coefficient 3. L'épreuve d'entretien avec le jury porte sur la motivation du candidat et son aptitude à se projeter dans le métier de professeur au sein du service public de l'éducation. L'épreuve se déroule en deux parties. La première partie d'une durée de quinze minutes débute par une présentation par le candidat des éléments de son parcours, d'une durée de cinq minutes maximum. Cette présentation donne lieu à un échange avec le jury. La deuxième partie de l'épreuve, d'une durée de vingt minutes, doit permettre au jury, au travers de deux mises en situation professionnelle, l'une d'enseignement, la seconde en lien avec la vie scolaire, d'apprécier l'aptitude du candidat à : i) s'approprier les valeurs de la République, dont la laïcité, et les exigences du service public (droits et obligations du fonctionnaire dont la neutralité, lutte contre les discriminations et stéréotypes, promotion de l'égalité, notamment entre les filles et les garçons, etc.) ; ii) faire connaître et faire partager ces valeurs et exigences.