

### Composition de Physique, Filière MP (XULCR)

Le sujet portait sur l'expansion de l'univers et sa mise en équation en n'utilisant que la mécanique classique, l'électromagnétisme et la thermodynamique au programme de classe prépa.

La première partie tourne autour de la loi de Hubble interprétée d'un point de vue classique mais poussée jusqu'à l'introduction des coordonnées comobiles et d'un paramètre d'échelle.

Les deuxièmes et troisièmes parties introduisent dans le problème l'ingrédient gravitationnel pour expliquer un éventuel ralentissement de l'expansion.

La quatrième partie traite de l'expansion d'un point de vue thermodynamique.

La cinquième partie s'intéresse à l'effet du rayonnement électromagnétique et des neutrinos dans le processus de ralentissement de l'expansion en prenant en compte leur dilution particulière.

Enfin la sixième partie, après avoir présenté la mesure du paramètre de décélération par le red shift, introduit la constante cosmologique pour expliquer l'accélération inattendue observée.

La répartition des notes des candidats français est la suivante :

$0 \leq N < 4$	53	3,55%
$4 \leq N < 8$	367	24,56%
$8 \leq N < 12$	548	36,68%
$12 \leq N < 16$	369	24,7%
$16 \leq N \leq 20$	157	10,51%
Total :	1494	100%
Nombre de candidats :	1494	
Note moyenne :	10,51	
Ecart-type :	4,04	

Le sujet comportait de nombreuses questions. Les parties 1, 2 et 3 ont été abordées par une majorité de candidats avec une réussite convenable. Les parties suivantes ont été beaucoup moins traitées avec une partie 6 abordée par moins d'un quart des candidats (excepté la question 28a).

Quelques remarques d'ordre général :

1. La qualité rédactionnelle et de mise en page est particulièrement mauvaise sur nombre de copies qui s'en trouvent très difficiles à lire. Le jury recommande vivement d'éviter les copies trop brouillons, raturées et inversant en permanence l'ordre des questions. Ce genre de copies met le correcteur dans de mauvaises dispositions et influe nécessairement négativement sur la note.

2. Il est rappelé que chaque question traitée doit être numérotée et le résultat obtenu mis en évidence (entouré ou souligné par exemple). Le correcteur ne mènera pas l'enquête pour savoir à quelle question répond tel ou tel bout de texte ou équation non référencé.
3. Pour les questions dont la réponse est donnée dans l'énoncé, les correcteurs n'apprécient guère les démonstrations manifestement de mauvaise foi où le calcul part d'un résultat faux pour arriver miraculeusement au résultat demandé. Les candidats qui se prêtent à ce genre de technique s'exposent à une notation plus dure de la part d'un correcteur échaudé.
4. Le jury rappelle aux candidats que les calculs doivent être menés jusqu'au bout même si les dernières étapes semblent évidentes. Les résultats doivent au maximum être factorisés et si le calcul d'une variable est demandé il faut l'isoler et la mettre préférentiellement à gauche de l'équation.
5. Plus anecdotique : dans de nombreuses copies les candidats pensent que lorsqu'ils n'aboutissent pas au bon résultat cela est dû à une erreur d'énoncé.

### Remarques spécifiques

Q1abc : Questions traitées de manière convenable dans l'ensemble, même si l'on regrette que de nombreux candidats ne prennent la peine de factoriser leur résultat. Quelques justifications hasardeuses sur l'aspect monochromatique ou onde plane de la lumière. Un certain nombre de confusions entre mécanique relativiste et mécanique quantique. Quelques candidats ont eu la mauvaise idée de ne pas tenir compte de la progression des questions et de chercher à utiliser les concepts définis dans la suite du sujet pour traiter ces questions.

Q2 ab : Nombreuses confusions entre dimension et unité. Beaucoup d'erreurs d'un facteur 10 dans l'application numérique.

Q3 : Un nombre important de candidats se place dans une situation à une dimension (tous les vecteurs colinéaires) pour répondre à la question alors que la question est clairement posée dans le cadre général.

Q4 : Question plutôt bien traitée. Certains candidats laissent la variable  $v$  dans leur expression et ne vont pas jusqu'au bout du calcul.

Q5 : Beaucoup de facteurs  $2\pi$  sont manquants et des erreurs de signe. Souvent l'équation sur le rotationnel est oubliée.

Q6 : Beaucoup de copies ne donnent qu'une des deux formules demandées. Beaucoup de copies ont un signe  $+$  au lieu de  $-$ , signe d'une mécompréhension de la physique. Des erreurs liées à la supposition que  $\chi$  est unitaire. Il n'est pas nécessaire d'introduire  $\rho_0$  et  $\alpha_0$  à ce stade

Q7 : Beaucoup de résultats corrects mais mal justifiés.

Q8 : Quelques tentatives de se rattraper en déterminant  $E_c$  et  $E_p$  directement (après s'être trompé aux questions précédentes), et dans ce cas, pas mal d'erreurs pour exprimer  $v$ :  $v \neq \alpha'$

Q9 : De candidats ayant un résultat faux à la Q4 ont « miraculeusement » retrouvé l'expression donnée dans l'énoncé.

Q10 : Un certain nombre de résultats farfelus en terme d'ordres de grandeur (et quelques  $t_0 = 2019$  !).

Q11: Plusieurs cas de recherche de  $a'^2 < 0$ . Là encore quelques ordres de grandeur farfelus (par exemple  $10^{56}$  protons  $m-3$ ).

Attention il est incorrect de faire  $a(t) \rightarrow \infty$  quand on veut montrer que l'expansion s'arrête à un moment

Q12: Attention, ce n'est pas parce qu'une équation différentielle est non-linéaire qu'on ne peut pas la résoudre! Très peu de candidats ont fait le calcul avec  $H_0$  et ont traîné des expressions compliquées sans les simplifier. Il faut aller au bout du calcul, ce n'est pas au correcteur d'isoler  $a(t)$  et de prendre la racine  $2/3$ . Dans de nombreuses copies le calcul s'arrête au milieu et est encadré comme si ce résultat intermédiaire était acceptable et le reste trop évident.

Q13: Très peu de candidats traitent correctement cette question pourtant facile, car le changement de variable dans la dérivation temporelle n'est pas effectué. Une équation adimensionnée ne doit plus contenir de variables dimensionnées. La quantité  $dx/d\tau$  ne doit pas être notée  $x'$ .

Q14 abc : Fréquentes mentions d'énergie mécanique "finie" ou de non-conservation de l'énergie mécanique. Assez régulièrement, il est écrit que la force de gravitation augmente avec la distance. Souvent les frottements sont évoqués pour justifier le ralentissement de l'expansion !

Q14d: Une dépendance est souvent évoquée sans dire dans quel sens. Une partie des candidats se contentent de dire comment obtenir  $t_0$  partir de la figure et non des équations.

Q15 et 16 : Questions bien réussies.

Q17 et Q18 : Confusion occasionnelle consistant à inclure la galaxie considérée auparavant dans l'équation et à rajouter son énergie cinétique. Les tentatives de partir du résultat donné Q18 pour trouver la démonstration se remarquent et ne sont pas appréciées !

Q19 : Question bien réussie lorsqu'elle est abordée.

Q20 De nombreux candidats surpris de trouver  $P=0$  se risquent à des commentaires malheureux démontrant leur incompréhension de l'effet physique.

Q21 : Question faisant appel à des notions directes de cours et plutôt bien réussie par les candidats qui l'abordent (<50%).

Q22 : De nombreuses erreurs sur la puissance de  $a$  dans l'expression.

Q23: Beaucoup d'erreurs découlant d'un résultat faux à la question précédente.

Q24 : Attention une fonction peut-être strictement croissante sans pour autant tendre vers  $+\infty$

Q25, Q26 et Q27 : enchaînement de questions relativement faciles (excepté la 26e très largement mal réussie) qui ont permis à de nombreux candidats de raccrocher au problème à ce niveau-là.

Q28 et Q29 : Questions les plus dures conceptuellement du problème (excepté Q28a). Peu de candidats ont abordé cette partie du problème ou avec peu de réussite.