

## **1/ REMARQUES GÉNÉRALES**

### **1.1- PRÉSENTATION DU SUJET**

Le sujet portait sur la modélisation du mouvement d'une plateforme en mer, que l'on assimilait à un oscillateur harmonique unidimensionnel soumis à une force excitatrice. Il comprenait trois parties partiellement indépendantes.

La première partie, relative à la résolution analytique du problème, était proche du cours de 1<sup>re</sup> année et permettait d'extraire les paramètres physiques nécessaires à la construction du modèle. Elle se décomposait en trois sous-parties qui introduisaient progressivement les influences des forces exercées sur la masse de la plateforme par le support de la plateforme, par l'eau environnante et par les vagues frappant périodiquement la masse. Ces trois cas correspondaient respectivement aux cas de l'oscillateur non amorti et sans excitation externe, au cas amorti sans excitation et enfin à celui du système amorti en régime forcé. La seconde partie portait sur la résolution numérique des équations du modèle, à l'aide de deux algorithmes distincts : Euler et Leapfrog, ce dernier utilisant un décalage d'un demi-pas entre position et vitesse. Cette partie visait au codage de ces algorithmes mais également à leurs mises en équation. La troisième et dernière partie proposait une comparaison des résultats numériques avec ceux d'une solution analytique et une comparaison entre deux algorithmes étudiés dans un cas simple, sans amortissement, ni excitation.

Le sujet faisait appel à des notions transversales en chimie, en physique, en mathématiques et en informatique. Les trois parties étaient rédigées de façon à éviter de bloquer un candidat sur une partie donnée.

La longueur du sujet semble avoir été adéquate, l'essentiel du sujet ayant été traité ou au moins abordé par la majorité des candidats. Les questions avaient un niveau de difficulté varié, ce qui a permis de classer les candidats notamment sur les deuxième et troisième parties qui ont clairement posé le plus de difficultés.

Un aide-mémoire sur numpy était fourni en annexe.

### **1.2- SUR LA PRESTATION DES CANDIDATS**

La première partie a été abordée dans sa quasi-totalité par l'ensemble des candidats mais a été plus ou moins bien traitée, les questions plus calculatoires mettant en difficulté beaucoup de candidats. En particulier, la mise sous forme compacte des solutions apparaît comme non maîtrisée par bon nombre d'entre eux, soulignant un manque certain d'utilisation d'outils mathématiques simples comme des fonctions trigonométriques. La représentation complexe pour la solution générale ne semble pas non plus maîtrisée par de nombreux candidats. Parmi les représentations graphiques demandées, certains candidats ont fourni des représentations complètement fantaisistes, ce qui témoigne d'un manque de recul

et de compréhension, à la fois sur les fonctions mathématiques de base ainsi que sur la physique du problème, même pour des systèmes classiques tels que l'oscillateur harmonique.

Globalement, on constate un manque de rigueur dans les réponses, avec une certaine tendance à essayer de retrouver les expressions demandées dans l'énoncé par tous les moyens possibles. Un nombre trop important de candidats n'a en particulier pas traité convenablement certaines questions « de cours », ce qui semble indiquer une baisse de niveau de compréhension physique et mathématique des candidats sur des aspects élémentaires. En outre, un certain nombre de copies ont pu mettre en évidence un apprentissage « par cœur » du cours, sans réel raisonnement théorique construit.

La seconde partie, qui portait sur l'algorithmique et le codage n'a été abordée que de façon partielle, voire même complètement ignorée par certains candidats. Les questions délicates (Q25-Q27) ont souvent été ignorées. Celles portant sur des aspects algorithmiques indépendants de la compréhension physique ont par contre souvent été traitées (Q21-22, Q28, Q30-Q34). Une partie des candidats n'ont pas fait le lien avec la partie physique précédente et n'ont pas eu l'idée de reprendre les expressions établies en première partie. On peut noter une faible maîtrise des types (entier, flottant...), ainsi qu'une tendance assez générale à ne pas suivre les consignes données dans l'énoncé : création de fonctions au lieu de boucles, utilisation de listes au lieu de tableaux, alors qu'une annexe détaillée sur ces derniers était fournie... La syntaxe Python est parfois très approximative, certains candidats abusant des « raccourcis » de notation propres à Python de façon incorrecte, conduisant ainsi à de nombreuses erreurs.

Quelques commentaires généraux :

- les *range* sont souvent mal utilisés : arguments de type flottant, problème de borne supérieure,
- grosse confusion entre fonction et boucle pour une majorité de candidats,
- la construction de boucles pose problème à un grand nombre de candidats : certaines boucles tournent sans incrémenter quoi que ce soit, les bornes ne sont pas correctes, la syntaxe n'est pas toujours respectée,
- grosse confusion entre *print* et *return* pour pas mal de candidats,
- pour certains candidats, *print* semble être une solution universelle permettant de tout faire (retour de fonction, affectation d'un résultat ou d'une variable à un élément de tableau ou d'une liste...),
- les listes ou *array* sont très rarement initialisés,
- une liste et un *array* n'ont pas la même syntaxe,
- les commandes du module *math* n'agissent pas sur tous les éléments d'une liste.

La dernière partie a été, de loin, la moins bien traitée, avec beaucoup de hors sujet. De nombreux candidats n'ont pas fait le lien avec la partie précédente et se sont ici contentés de grappiller des points sans réelle réflexion. Des notions élémentaires telles que les choix du pas de temps de simulation par rapport au temps caractéristique du système semblent souvent complètement inconnues. Le vocabulaire choisi pour analyser les résultats est également assez approximatif. Très peu de candidats ont su dépasser la simple lecture graphique des erreurs absolues comparées des deux algorithmes considérés.

Enfin, sur la forme, il est demandé aux candidats de respecter les consignes données sur les couleurs et types de stylos autorisés pour la rédaction de leurs copies. En effet, ces dernières étant désormais scannées pour la correction, certaines couleurs sont apparues très faiblement, rendant certaines parties des copies difficilement lisibles. Pour la même raison, il est également demandé d'éviter de surligner les résultats. Enfin, aérer la copie, encadrer ou souligner les résultats et faire des phrases plutôt que d'enchaîner des équations sans aucun commentaire est toujours apprécié. Certaines copies étaient très brouillonnes : l'utilisation d'une règle pour barrer proprement un résultat faux serait également apprécié.

## 2/ REMARQUES SPÉCIFIQUES

Q1, Q2, Q8, Q16 : généralement bien traitées, mis à part des erreurs de signes ou de normalisation. Certaines copies manquaient de rigueur, en omettant de mentionner système, référentiel, base, bilan des forces... le fait que les forces d'excitation et d'amortissement soient nulles dans les parties concernées n'est parfois pas mentionné.

Q3+Q9 : généralement bien traitées. Beaucoup de candidats ont perdu du temps à redémontrer la forme des solutions. Les erreurs portaient ici principalement sur le calcul de la dérivée.

Q4+Q10 : pas mal d'erreurs dans les formules de trigonométrie de base. Des difficultés pour la détermination de  $R_0$ , moins pour celle de  $\phi_0$ . Il y a aussi les cas assez nombreux où  $R_0$  est exprimé avec un  $\arctan(\cos\dots)$ , sans simplification.

Q5 : dans certaines copies il n'y a aucune distinction entre  $x_0$  et  $R_0$ . Certains candidats font ici osciller la plateforme autour de  $x_0$  (au lieu de 0).

Q6 : de façon surprenante, beaucoup de candidats ont été en difficulté sur cette question, avec une non connaissance de l'énergie potentielle de rappel élastique ou de l'énergie cinétique, faisant parfois intervenir l'énergie potentielle de pesanteur. Certains candidats choisissent une valeur particulière sans jamais mentionner qu'ils considèrent l'énergie comme constante. La conservation de l'énergie est cependant très souvent citée pour les candidats n'ayant pas obtenu l'expression demandée correctement. Forte tendance ici à vouloir démontrer la relation donnée en écrivant parfois n'importe quoi.

Q7 : les courbes sont très souvent représentées, mais sont parfois très surprenantes : déphasage entre  $U(t)$  et  $K(t)$ , énergies cinétique et potentielle négatives ou encore  $E(t) \neq U(t) + K(t)$ . Certains candidats ont choisi de faire un graphe distinct pour chacune des trois fonctions, ce qui n'est pas l'idéal dans ce cas.

Q11 : les enveloppes mettant en évidence la décroissance exponentielle sont parfois absentes, mais en général question correctement traitée.

Q12 : beaucoup de candidats ont rencontré des difficultés sur cette question : erreurs dans les dérivées, pas d'élévation au carré pour certains, utilisation de l'expression de Q9 pour d'autres ou encore énergie considérée comme constante.

Pour la plupart des candidats, le cas  $\xi = 0$  est traité, mais  $\xi = 1$  pose plus de problèmes. Peu de mention des trois régimes physiques.

Q13 : les frottements sont mentionnés. La dérivée de l'énergie est rarement réalisée correctement, tout comme la mention ou encore l'utilisation du théorème énergétique.

Q14 : beaucoup d'approximations sur cette question : le rapport des cosinus disparaît souvent sans justification, ou en précisant qu'il est petit devant 1.  $\omega_d$  est parfois assimilé à  $\omega_0$  sans justification. Le résultat est souvent obtenu en collant avec l'énoncé mais sans démonstration claire.

Q15 : les applications numériques ont posé problème : unités fausses, erreurs de calcul... La discussion demandée est rarement effectuée et toujours superficielle.

Q17 : beaucoup de difficulté pour le passage aux complexes. Question non traitée par pas mal de candidats. Beaucoup confondent cependant module et argument et parties réelle et imaginaire au moment de finaliser le calcul.

Q18 : question souvent abordée mais non aboutie. L'interprétation physique est souvent absente et beaucoup confondent  $M$  avec le facteur de qualité ou avec une pulsation.

Q19 : la grande majorité des candidats a cherché la valeur qui annulait le dénominateur. Pour ceux ayant envisagé la dérivée première, les calculs sont bien souvent laborieux et faux. Extrêmement peu de candidats ont envisagé la dérivée seconde pour vérifier qu'il s'agissait bien d'un maximum.

Q20 : question peu abordée, avec des réponses souvent sans lien avec les questions précédentes.

Q21 :  $N$  est peu souvent forcé à être un entier. L'ajout du 1 est très souvent oublié.

Q22 : beaucoup ont choisi d'utiliser une boucle, avec plus ou moins de succès (erreurs de bornes, d'indices...). Pour ceux qui ont utilisé *linspace* (fournie dans l'annexe), il y a parfois confusion entre  $\Delta t$ ,  $t_{\max}$  et  $N$ , ou encore erreur dans la taille du tableau.

Q23 : certains candidats n'ont pas fait le lien avec la première partie et n'ont donc pas utilisé l'équation du mouvement précédente. L'expression de  $x_{n+1}$  a parfois été difficile, en souhaitant remplacer  $v_n$ .

Q24 : certains n'ont pas compris que  $E[i+1]$  se calculait à partir de  $x[i+1]$  et  $v[i+1]$ .  $F[]$  est parfois considéré comme constant. De façon générale ici, des erreurs d'indice, de syntaxe, en particulier dans le *for* et le *range* avec des arguments de *range* non entiers, ou encore une utilisation de l'accélération sans définition préalable.

Q25 : question peu abordée. Quelques candidats s'en sont très bien sortis mais il y a une forte tendance à vouloir démontrer les relations données en écrivant parfois n'importe quoi.

Q26-Q27 : la plupart des candidats ont compris qu'il fallait évaluer vitesse et position au même temps mais n'ont pas donné une expression correcte pour l'énergie. Pour une bonne partie des candidats ayant correctement traité Q26, l'expression de Q24 est reprise pour répondre à Q27 en contradiction totale avec ce qu'ils viennent d'écrire.

Q28-Q29 : beaucoup d'erreurs d'indices ou de fin de boucle. La nécessité du calcul de  $v$  avant  $x$  est souvent oubliée. L'utilisation de la syntaxe  $x,v=...$  est ici plus dangereuse qu'ailleurs : on ne peut pas utiliser les listes avec des indices non entiers.

Q30-Q32 : généralement bien traitées, sauf pour certains candidats qui ne maîtrisent pas les structures de type *if/else*, qui oublient l'initialisation ou encore qui confondent variables globales et locales.

Q33 : question souvent mal comprise. Certains candidats ont essayé ici de faire des tracés de fonctions. Quand la question est comprise, il n'y a souvent ni déclarations ni déterminations des variables utilisées ou encore une mauvaise utilisation du retour des fonctions dans des listes adaptées.

Q34 : question généralement bien traitée, sauf pour certains candidats qui calculent une moyenne des erreurs, qui oublient l'initialisation ou qui ne définissent pas la variable  $n$  avant de l'utiliser.

Q35 : question souvent mal traitée, dû aux problèmes d'indices.

Q36 : les réponses ont été souvent fausses ou très imprécises : «  $\Delta t$  doit être petit », parfois devant  $t_{\max}$ , souvent devant rien du tout, peu souvent devant la période du système. Un grand nombre de points est aussi très souvent mentionné comme preuve de la qualité d'une simulation.

Q37-Q38 : questions non comprises. Les valeurs du tableau ont servi à calculer beaucoup de choses mais rien de ce qui était nécessaire. La notion « d'ordre » ne semble pas comprise : confusion généralisée entre l'ordre du code en  $\Delta t$  ou  $\Delta t^2$  avec l'ordre de grandeur de l'erreur. Aucun ou peu de candidat n'a eu l'idée d'étudier le rapport  $\frac{E_{n+1}}{E_n}$ .

Q39 : la conservation de l'énergie ou encore la réversibilité de l'équation différentielle sont très peu souvent mentionnées. La périodicité est souvent citée comme justification ou encore celle « d'oscillations ». La question est souvent paraphrasée pour répondre... à la question.

Q40-Q41 : questions souvent non abordées. Beaucoup d'erreurs d'indices, conduisant à des conclusions complètement fausses. Un algorithme présenté comme irréversible en Q40 est souvent étudié en Q41 contre toute logique.

Q42 : souvent traitée mais commentaires très limités du type : « l'erreur augmente avec Euler, pas avec Leapfrog ». Beaucoup de confusion entre erreur, erreur absolue, erreur relative...

Q43 : la réponse à cette question est à chaque fois ou presque une copie de la précédente. Un tableau avantages/inconvénients allant au-delà de l'évolution de l'erreur aurait pu être utilisé.

## 2/ CONCLUSION

Les corrections de copies révèlent de sérieuses lacunes pour beaucoup de candidats sur l'utilisation d'outils mathématiques élémentaires ou sur la compréhension de notions physiques simples. Ceci affecte bien entendu la construction des programmes qui en découlent, dans lesquels une bonne compréhension des méthodes numériques employées, du traitement numérique ainsi que de la logique de programmation à appliquer est indispensable.

Il est de plus très dommage de constater que beaucoup de candidats butent sur des problèmes de base de programmation, comme les notions de boucles ou encore l'initialisation de variables ou de tableaux. Il faut encourager les élèves de CPGE à plus s'impliquer en programmation, en particulier à adopter une plus grande rigueur dans la compréhension et l'utilisation des concepts de base en programmation.