

## **1/ REMARQUES GÉNÉRALES**

L'objectif de cette épreuve est de mettre les candidats en situation de modélisation. Le candidat doit mobiliser ses connaissances de Mathématiques, de Sciences Physiques, de Sciences de l'Ingénieur et d'Informatique afin d'élaborer et de s'approprier un modèle, de le confronter à des mesures et de répondre à une problématique. Le candidat se retrouve dans une démarche similaire au TIPE puisqu'il va devoir utiliser des manipulations et des simulations contextualisées et multidisciplinaires pour résoudre son problème.

L'épreuve de cette année porte sur la modélisation d'un correcteur de facteur de puissance afin de minimiser les pertes d'énergie liées à l'acheminement de l'énergie électrique. Le sujet comporte des questions relevant des programmes de Mathématiques, de Sciences Physiques, de Sciences de l'ingénieur et d'informatique.

Le sujet comporte 3 parties. Dans la partie I de ce sujet, nous étudions le redresseur dit à capacité en tête qui est mis en œuvre dans de nombreux appareils électriques alimentés par le réseau électrique, mais qui ne permet pas de minimiser les pertes en ligne. Dans la partie II, un convertisseur statique, appelé correcteur de facteur de puissance, est étudié. Lorsqu'il est intercalé entre le réseau et une installation électrique domestique, il minimise les pertes en ligne. Enfin, dans la partie III, une stratégie de commande du correcteur de facteur de puissance est élaborée par Intelligence Artificielle (IA) dans le but de trouver un compromis entre la minimisation des pertes en ligne et la minimisation des pertes au sein du convertisseur.

Dans l'ensemble, la plupart des questions du sujet ont été abordées.

Nous rappelons que la présentation est prise en compte dans le barème et qu'il convient de faire un effort tout au long de l'année pour avoir des copies présentables. Les copies illisibles ont été sanctionnées. Il est conseillé d'utiliser un stylo à pointe épaisse pour rendre lisible la copie après scan et de grossir l'écriture dans la mesure du possible. Les stylos utilisés doivent être foncés comme cela est écrit dans la notice 2024 : Pour un rendu optimal de la copie scannée, le candidat devra composer impérativement au stylo de couleur bleu foncé ou noire (non effaçable). Les stylos « friction » sont interdits, tout comme les couleurs claires (bleu clair, turquoise, violet...). Aucun type de correcteur n'est autorisé.

Pour les mêmes raisons, les correcteurs souhaitent avoir les résultats encadrés et non surlignés.

Pour les questions qualitatives, il est recommandé de mettre en évidence les mots clés. Les correcteurs recommandent également de ne pas mélanger les réponses aux différentes parties en raison de la dématérialisation des copies.

Beaucoup de points ont été perdus pour les raisons suivantes :

- des justifications explicitement demandées ne sont pas fournies ;
- beaucoup d'applications numériques « très simples » (sans fractions) ont été mal réalisées. Pour rappel elles comptent en général entre la moitié et le tiers des points des questions concernées. Les résultats finaux ne doivent pas être exprimés sous forme de fractions, et de préférence avec le bon nombre de chiffres significatifs ;
- des unités aberrantes ont été proposées pour des grandeurs de type puissance ou énergie... On rappelle que l'unité est un indicateur de la bonne compréhension du candidat sur ce qu'il manipule ;
- définition de la puissance électrique à l'aide de la tension et intensité efficaces en régime sinusoïdal et non maximales.

Globalement la partie électricité du programme, même basique, est mal connue par de nombreux candidats, beaucoup d'erreurs sont dues à cette méconnaissance.

Nous conseillons aux candidats de traiter les parties dans l'ordre. Le sujet est conçu sur une problématique commune et les parties ne sont pas tout à fait indépendantes. Traiter les parties en commençant par les disciplines dans lesquelles le candidat est le plus à l'aise n'est pas ici une bonne stratégie car cela nuit à la compréhension du système étudié et de la logique du sujet.

## 2/ ANALYSE DÉTAILLÉE DES QUESTIONS

Q1 : Classique oubli de repère temporel (période). Il faut également toujours indiquer les abscisses et les ordonnées dans un graphique

Q2 : L'expression du temps caractéristique de la décharge d'un condensateur dans un résistor doit être connue (ou doit pouvoir être retrouvée rapidement) par les candidats. Des erreurs d'homogénéité.

Q3 : Le facteur  $2/N$  a très souvent été oublié malgré la précision donnée dans l'annexe 2. La plupart des erreurs faites sur les lignes 14 à 18 découlent d'une confusion entre le spectre du courant de ligne et son chronogramme présenté à la figure 2.

Q4 : Une erreur importante rencontrée quelquefois : le fait que les harmoniques de rang pair soient nuls n'implique pas que le signal soit impair.

Q5 : Il ne suffit pas de poser  $i(t) = i(t - T/2)$ , même en remplaçant par les cosinus pour montrer que les harmoniques de rang pair sont nuls.

Q6 : Certains ont considéré le produit  $u_{ch}(t)*i(t)$  au lieu de  $v(t)*i(t)$  pour exprimer P.

Q7 : Attention aux ordres de grandeur de la puissance.

Q8 : Le schéma électrique proposé par l'énoncé pour modéliser le réseau est un modèle dont les différents éléments ( $e(t)$ ,  $r$  et  $\lambda$ ) représentent une réalité physique distribuée sur l'ensemble du réseau. Les fils de connexion reliant ces éléments sont fictifs et ne sont donc pas accessibles à une mesure de potentiel. Souvent se contente de dire "on branche deux fils et on regarde sur l'écran. Très peu de candidats ont noté que le courant devait être nul pour réaliser la mesure.

Q9 : L'expression « les signaux sont en phase » est à réservée aux signaux sinusoïdaux.

Q10 : Pertes =  $rl^2$  semble inconnu par les candidats.

Q11 : Une grande majorité des candidats qui ont répondu à cette question se sont focalisés uniquement sur le terme « en phase », oubliant de mentionner le rôle des harmoniques du courant dans les pertes en ligne.

Q 12/13 : Les règles d'association des sources ne doivent être pas utilisées pour déterminer l'état passant ou bloqué d'une diode lors de l'étude **théorique** d'un convertisseur électrique statique. En effet il n'est pas garanti que le schéma électrique proposé ne comporte pas d'erreur... Une étude basée sur la caractéristique de la diode est préférable car elle permet de détecter les erreurs de câblage. L'état de la diode n'est parfois pas explicitement donné ou est faux.

Dans quelques copies, la liste des formules demandées a été faite en utilisant des tirets. Or, utilisé devant une équation, un tiret est une source d'ambiguïté puisqu'il peut être confondu avec un signe moins.

Q14. Ne pas mettre toutes les courbes sur une même figure. Difficile à lire parfois.

Q15 : Beaucoup ont écrit  $U_0 = \alpha U_{ch}$  sans démonstration confondant certainement avec le cas du « hacheur dévolteur ». Certains candidats ont explicité une relation entre les différents termes faisant intervenir plusieurs fois ceux-ci. Les relations doivent être explicites, simplifiées au maximum afin d'envisager une potentielle application numérique de chaque terme intervenant.

Q16 : Pour la compréhension il est préférable de ne pas mettre toutes les courbes sur le même graphique.

Q17 : Proposer le montage électrique du circuit de commande permettait une réponse directe et claire. Sinon, il convenait d'être très précis sur les choix des circuits proposés, l'ordre de câblage et les signaux correspondant à  $e_1$  et  $e_2$ .

Q18 : Comparer les amplitudes des deux signaux n'a pas de sens car ils n'ont pas la même dimension.

Très peu de candidats ont pu donner une valeur approchée de  $\Delta$ .

Les qualificatifs « stable » ou « instable » ne permettaient pas de décrire l'allure du chronogramme du courant de ligne car ils ne s'appliquent pas à un signal mais à un système.

Q19 : La distinction entre chronogramme et spectre n'a pas toujours été clairement faite par les candidats. Trop de candidats utilisent des termes non scientifiques ou inadaptés parlant de la « propreté » du signal par exemple.

Q20 : Toutes les caractéristiques des ALI ont été données en réponse à cette question !

Q21 : Il était attendu des candidats une justification faisant référence à la précision des mesures de températures et aux barres d'erreurs correspondantes.

Q22 : Il y a deux commutations du transistor par période de découpage, ce qui modifie l'expression de  $P_{com}$ . De plus, une grande partie des candidats n'ont pas été capables de donner l'analogie du courant électrique en thermique.

Q23 : RAS

Q24 : Quelques confusions entre « court-circuit » et « coupe-circuit » pour justifier d'un câblage en dérivation des différents éléments d'une installation électrique.

Q25 : Un élément résistif alimenté par une tension sinusoïdale est parcouru par un courant sinusoïdal en phase avec la tension. Et sûrement pas un courant continu !

Q26. Les candidats doivent connaître des ordres de grandeurs. Le radiateur électrique pour un studio va de quelques Watts au Mégawatt ! Idem pour le chauffe-eau

Q27 :  $4^3$  au lieu de  $3^4$  rencontré quelques fois. Certains candidats ne semblent pas réussir à réaliser un simple calcul de puissance : il faut veiller à pouvoir réaliser en un temps raisonnable et sans faute ce type de calcul sans calculatrice.

Q28/29 : Beaucoup de réponses se contentant de reformuler les termes de l'énoncé sans mentionner le rôle des harmoniques du courant dans les pertes en ligne.

Q31. Cette question pourtant très classique a reçu de nombreuses réponses très génériques et souvent fausses, du type "c'est plus/moins cher, c'est moins rapide, c'est plus précis" ...

Q32. Certains n'ont pas compris la notion de supervisé pourtant classique. Ils imaginent "supervisé=surveillé par un humain".

Q33 : La dérivée d'une fonction simple pose des problèmes ! Quelques candidats malgré une explicitation exacte de la dérivée de la fonction ont proposé un code calculant la dérivée en un point se basant sur le taux d'accroissement.

Q34 : Beaucoup de confusion dans les dimensions.

Q35 : Quelques candidats ont inversé la matrice.

Q36 : Il fallait bien penser à utiliser les fonctionnalités des tableaux numpy.

Q37 : Parfois les candidats ne calculent que Y. Ils n'ont pas compris qu'il fallait déterminer A graphiquement, et donc ils écrivent les formules sans calculer.

Q38 : Beaucoup de candidats affirment des résultats sans les montrer.

Q39 : Beaucoup de difficultés dans le produit d'un vecteur avec un vecteur transposé.

Q40 : Pour répondre à cette question il suffisait en grande partie de reprendre les formules de l'énoncé.

Q41 : Il fallait bien regarder le tableau de valeurs pour comparer les prédictions aux objectifs.

Q42. L'énoncé ne comportait aucune erreur, simplement un petit piège. La réponse était "ni l'un ni l'autre, il faut augmenter le nombre de données d'entraînement.", et un certain nombre de candidats ont été capables de la trouver.

### 3/ CONCLUSION

Les correcteurs conseillent aux candidats de s'entraîner à ce type d'épreuve et avoir des ordres de grandeurs. D'autre part, il ne faut pas négliger la partie informatique qui fait partie de l'épreuve.

## 4/ QUELQUES STATISTIQUES

Pour chaque question sont données le pourcentage de candidats ayant abordé la question et le pourcentage de 0 à la question.

N° question	% candidats ayant abordé la question	% 0 à la question
1	87	39
2	91	30
3	96	4
4	95	10
5	68	30
6	92	20
7	73	24
8	79	70
9	89	12
10	80	51
11	46	32
12	97	6
13	95	4
14	84	11
15	69	45
16	65	17
17	62	14
18	80	9
19	57	16
20	65	43
21	82	36
22	67	25
23	26	18
24	93	11
25	76	31
26	84	34
27	88	34
28	78	42
29	68	50
30	70	41
31	68	29
32	61	31
33	91	6
34	77	9
35	68	18

36	64	10
37	65	9
38	42	17
39	42	26
40	23	11
41	47	10
42	44	19