

« Les corrigés
les plus complets »

Annales corrigées

des problèmes posés aux

Concours 2015

Physique · Modélisation · Chimie

MP

ANNALES DES CONCOURS

Nouveaux
programmes

CCP
Centrale / Supélec
Mines / Ponts
X-ENS

Énoncés, indications, méthodes, astuces, rappels et solutions



ANNALES DES CONCOURS

MP
Physique · Modélisation · Chimie
2015

Sous la coordination de

Vincent FREULON
Professeur en CPGE
Ancien élève de l'École Normale Supérieure (Ulm)

Alexandre HÉRAULT
Professeur en CPGE
Ancien élève de l'École Normale Supérieure (Cachan)

Par

Claire BESSON
Docteur en chimie

Olivier FRANTZ
Professeur agrégé en école d'ingénieurs

Vincent FREULON
Professeur en CPGE

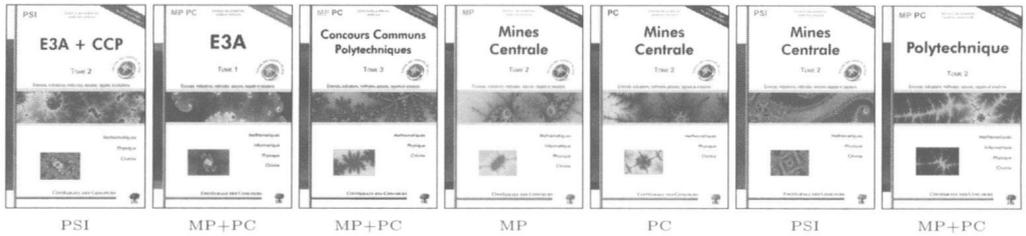
Alexandre HÉRAULT
Professeur en CPGE

Tom MOREL
Professeur en CPGE

Valentin RABAN
ENS Lyon

Jimmy ROUSSEL
Professeur en CPGE

Tiphaine WEBER
Enseignant-chercheur à l'université



Doc Solus

Les Annales sont en ligne

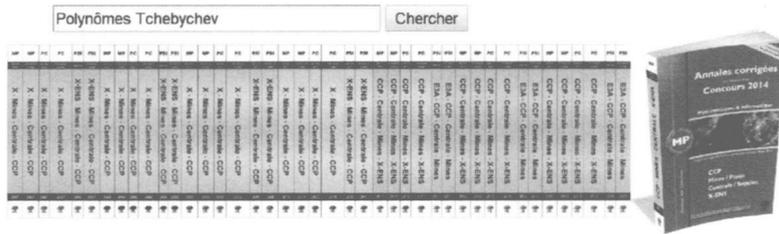
*968 corrigés complets
disponibles immédiatement*



mathématiques
informatique
modélisation
physique
chimie

e3a
CCP
Centrale-Supélec
Mines-Ponts
X-ENS-ESPCI

MP
PC
PSI



2000
⋮
2014

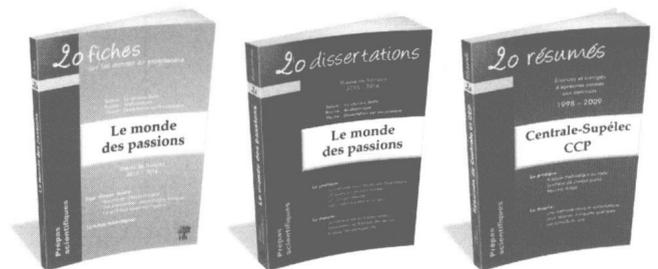
20f + 20d + 20r

Dès le mois de juin, préparez les épreuves de français

20 fiches – en 128 pages, tout ce qu'il faut savoir sur les œuvres au programme : résumé de chaque chapitre, personnages, auteur.

20 dissertations – des sujets comme aux concours, corrigés en détail.

20 résumés – corrigés de sujets posés à Centrale et aux CCP.



L'image en couverture de cet ouvrage est reproduite avec l'autorisation de la NASA.

© H&K, 68 boulevard de Port-Royal, 75005 Paris
ISBN13 : 978-2-35141-320-3

Dépôt légal : août 2015

Des annales, pour quoi faire ?

Quand on prépare les concours, on ne peut rien laisser au hasard : il faut étudier chaque leçon, apprendre chaque exercice classique, en somme, travailler en détail tout ce qui peut tomber. Reste à savoir ce qui tombe vraiment !

Se confronter aux écrits de la dernière session est le meilleur moyen de préparer la suivante. Les *Annales des Concours* sont également un bon outil pour préparer les compositions pendant l'année. L'idée directrice de cet ouvrage s'inspire des manuels de Terminale mais nous avons ajouté, pour chaque sujet, des indications et de nombreux commentaires méthodologiques et scientifiques. Dans le même esprit, nous avons regroupé en fin d'ouvrage les formulaires les plus utiles.

Comment utiliser cet ouvrage ?

Les devoirs pendant l'année sont des entraînements précieux, mais ils sont généralement trop courts ou trop longs. Trop courts, parce que les compositions sur table en temps limité ne vous laissent guère le loisir de creuser les questions ; en s'interdisant de consacrer aux questions difficiles le temps qu'elles méritent, on se condamne à ne savoir résoudre que les questions faciles – celles qui rapportent peu de points. Trop longs, parce que les devoirs à la maison vous laissent seul face à un énoncé dont certaines questions sont susceptibles de vous bloquer complètement, ou de vous faire travailler pendant un temps déraisonnable. En prépa, le temps est compté.

Muni de cet ouvrage, vous pourrez rationaliser votre préparation. Commencez par parcourir l'énoncé, sans le lire de manière exhaustive ni tenter de le résoudre de tête : cherchez simplement à acquérir une idée générale de la destination du problème et des moyens qu'il se propose d'employer pour y parvenir. Travaillez de votre côté, en vous reportant au corrigé à la fin de chaque partie pour vérifier que vous êtes sur la bonne voie. Lorsque vous êtes confronté à une question qui semble insurmontable, consultez les indications puis réessayez. Si cela ne suffit pas, n'hésitez pas à lire en détail la solution de cette question, vérifiez que vous l'avez bien comprise et concentrez-vous sur la question suivante, sans l'aide du corrigé.

C'est dans cette perspective que nous avons écrit cet ouvrage, auquel nous avons apporté tout notre soin : au moins trois personnes ont travaillé sur chaque corrigé. Nous espérons qu'il vous aidera efficacement dans votre préparation.

Écrivez-nous !

Vos critiques, suggestions ou propositions nous aideront à améliorer encore nos ouvrages. Si vous souhaitez nous en faire part, n'hésitez pas à nous écrire :

`contact@H-K.fr`

Si vous détectez une erreur, nous vous serions reconnaissants de nous en faire part :

`Errare.humanum.est@H-K.fr`

Retrouvez-nous en ligne

Sur notre site www.H-K.fr, vous trouverez nos errata (les erreurs signalées et les correctifs), des compléments, et bien d'autres ouvrages. Nous attendons votre visite.

Bon courage, et bonne réussite !

Les auteurs

Cet ouvrage a bénéficié des relectures attentives de Céline Chevalier, Ingrid Ravier, Stéphane Ravier et Gladys Vanhemelsdaele. Qu'ils en soient ici remerciés.

Sommaire thématique de physique

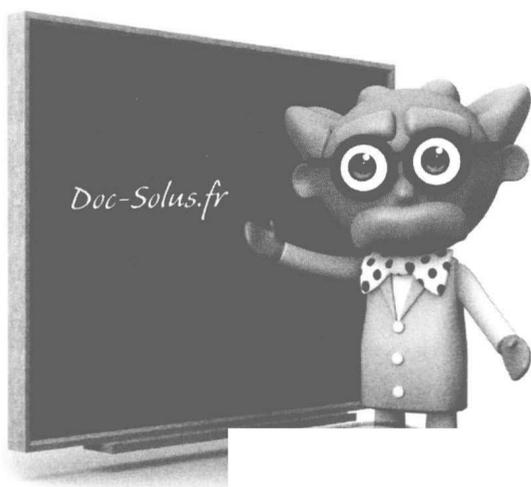
2015

e3a PSI Physique-Modélisation				•					•	
e3a PSI Physique et Chimie	•	•	•							
CCP MP Physique			•	•					•	•
CCP MP Physique et Chimie	•	•								
CCP PC Physique	•	•		•	•	•				•
CCP PC Modélisation Phys-Chimie										
CCP PSI Physique et Chimie	•		•	•	•				•	
CCP PSI Modélisation numérique		•								
Centrale MP Physique et Chimie 1		•		•	•				•	
Centrale MP Physique et Chimie 2			•	•					•	
Centrale PC Physique 1				•		•	•			
Centrale PC Physique 2		•	•		•	•				
Centrale PSI Physique et Chimie 1	•		•						•	
Centrale PSI Physique et Chimie 2				•	•	•		•	•	•
Mines MP Physique 1	•					•			•	
Mines MP Physique 2			•			•			•	
Mines PC Physique 1	•					•	•		•	
Mines PC Physique 2	•					•	•	•		
Mines PSI Physique 1	•					•	•		•	
Mines PSI Physique 2	•						•			
X/ENS MP Physique						•		•		
X MP Physique et SI	•					•		•		
X PC Physique A						•				•
X/ENS PC Physique B			•			•			•	
	Thermodynamique générale	Phénomènes diffusifs	Électrostatique et magnéto-statique	Électronique	Conversion de puissance	Mécanique du point et du solide	Mécanique des fluides	Ondes mécaniques et sonores	Électromagnétisme	Optique

Doc Solus

Les Annales sont en ligne !

4,95 €
par corrigé



mathématiques
informatique
modélisation
physique
chimie

e3a
CCP
Centrale-Supélec
Mines-Ponts
X-ENS-ESPCI

Doc-Solus.fr

968 corrigés complets
disponibles immédiatement

MP
PC
PSI

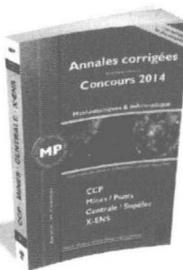
e3a · CCP · Centrale · Mines · X

2000
⋮
2014

Polynômes Tchebychev

Chercher

1	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
2	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
3	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
4	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
5	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
6	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
7	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
8	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
9	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
10	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
11	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
12	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
13	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
14	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
15	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
16	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
17	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
18	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
19	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
20	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
21	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
22	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
23	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
24	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
25	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
26	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
27	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
28	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
29	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
30	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
31	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
32	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
33	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
34	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
35	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
36	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
37	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
38	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
39	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
40	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
41	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
42	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
43	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
44	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
45	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
46	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
47	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
48	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
49	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
50	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
51	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
52	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
53	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
54	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
55	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
56	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
57	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
58	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
59	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
60	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
61	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
62	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
63	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
64	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
65	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
66	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
67	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
68	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
69	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
70	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
71	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
72	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
73	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
74	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
75	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
76	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
77	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
78	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
79	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
80	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
81	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
82	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
83	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
84	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
85	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
86	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
87	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
88	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
89	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
90	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
91	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
92	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
93	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
94	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
95	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
96	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
97	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
98	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
99	X-ENS	Mines	Centrale	CCP
100	X-ENS	Mines	Centrale	CCP

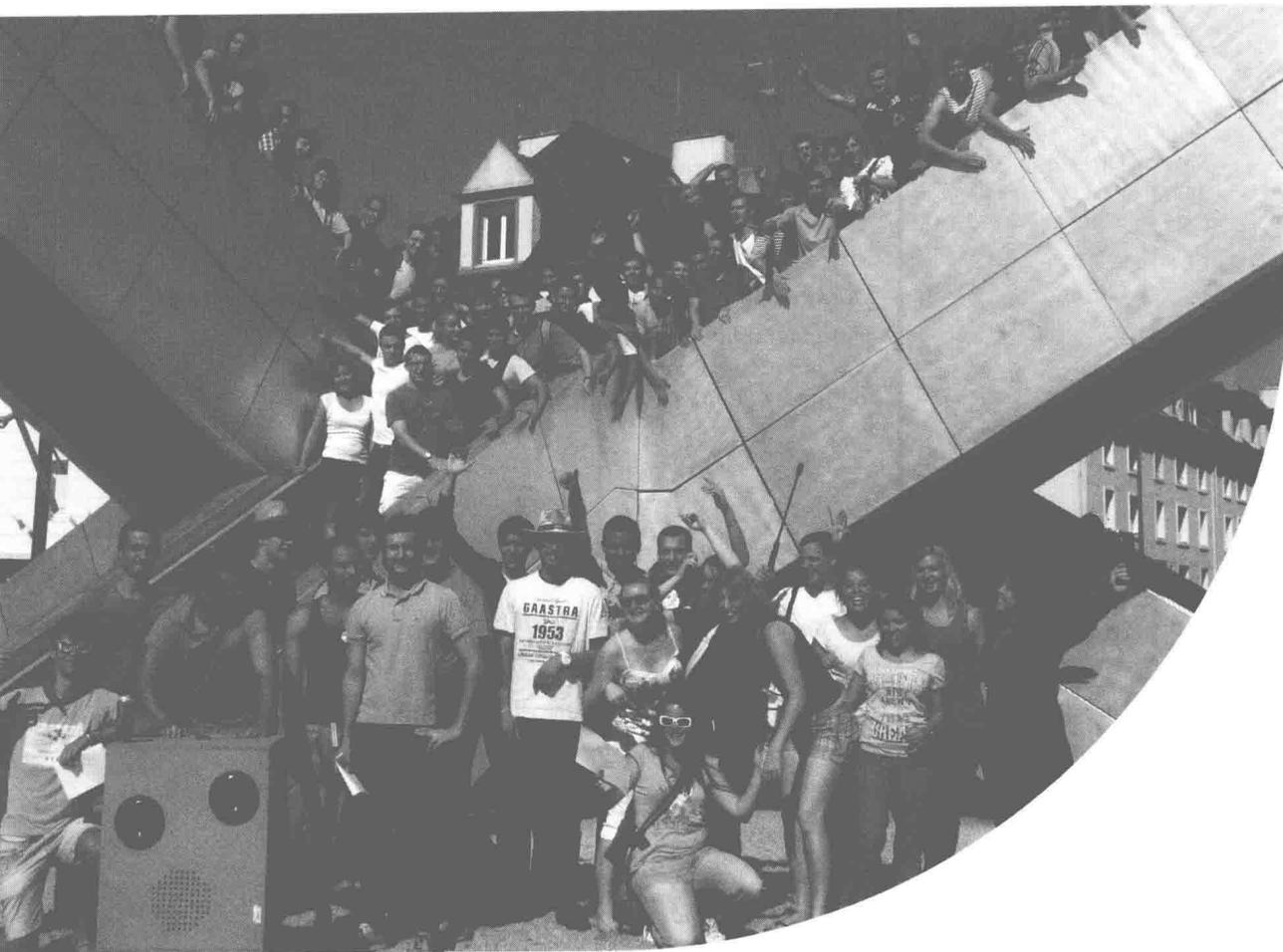


Sommaire

		Énoncé	Corrigé
CONCOURS COMMUNS POLYTECHNIQUES			
Physique	Une autre voie vers la fusion thermonucléaire. Mesure de l'épaisseur et de l'indice d'une lame. <i>optique, électromagnétisme, électrocinétique</i>	11	29
Physique et Chimie	Les aciers inoxydables et la corrosion. Autour de l'eau. <i>thermodynamique, cristallographie, courbes courant-potentiel, diagrammes E-pH, thermodynamique</i>	47	63
CENTRALE-SUPÉLEC			
Physique et Chimie 1	Loi de Moore. <i>électrocinétique, cristallographie, modèle de Drüde, diffusion thermique</i>	78	90
Physique et Chimie 2	Contrôle non destructif et alliage. Intégrité et structure d'alliages d'aluminium en aéronautique. <i>électromagnétisme, électrocinétique, oxydoréduction, cristallographie, solutions aqueuses, courbes courant-potentiel, diagrammes E-pH</i>	108	122

Ingénieur généraliste ENSTA Bretagne

L'esprit «Grand Large»



Grande école du groupe ENSTA

- TIC* / Systèmes embarqués
- Pyrotechnie / Propulsion
- Architecture navale / Offshore
- Hydrographie / Océanographie
- Architecture véhicules / Modélisation
- Ingénierie et gestion des organisations

** Technologies de l'information et de la communication*



concours 2015 : Concours commun des écoles des mines
NOUVEAU CONCOURS 2016 : CONCOURS MINES-TÉLÉCOM

MP, PC, PSI : écrits Mines Ponts, oraux Mines-Télécom ; banque PT ; TSI (CCP)

MINES-PONTS

Physique 1	Aspects de la propulsion spatiale. <i>thermodynamique, mécanique, électromagnétisme</i>	137	143
Physique 2	Nature de la gravitation. <i>mécanique, électromagnétisme</i>	157	165
Chimie	Métallurgie du lithium. <i>cristallographie, solutions aqueuses, oxydoréduction, courbes courant-potentiel, thermodynamique</i>	180	186

POLYTECHNIQUE-ENS

Physique	Propagation d'ondes le long d'une chaîne de pendules couplés. <i>mécanique, physique ondulatoire</i>	194	202
Physique et Sciences de l'ingénieur	Ralentissements et freinages. <i>mécanique du point, mécanique du solide, régimes transitoires</i>	222	230

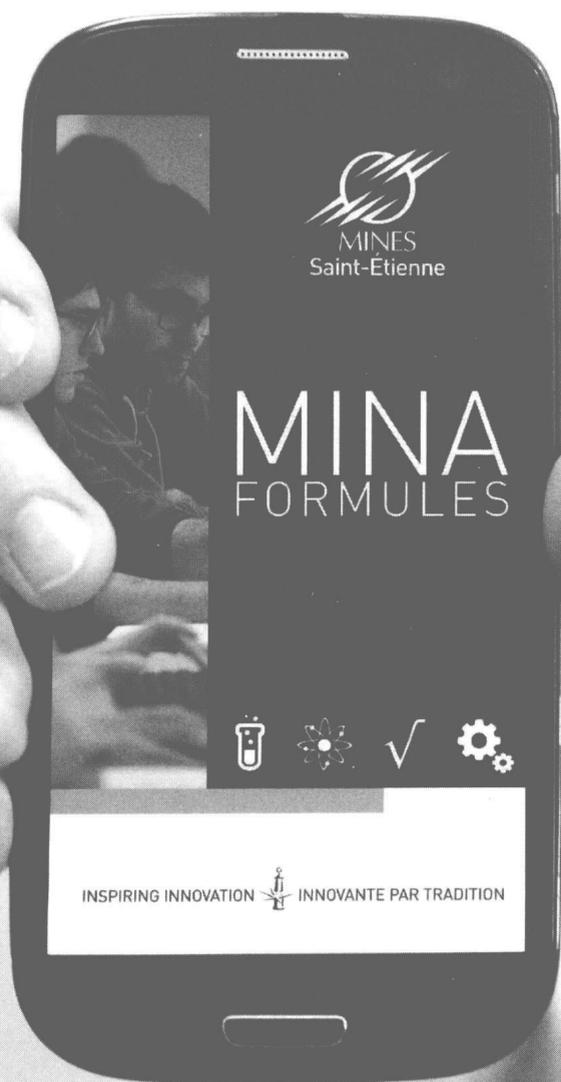
FORMULAIRES

Constantes physiques	251
Constantes chimiques	248
Formulaire d'analyse vectorielle	252
Classification périodique	256

Toutes les formules pour
vos révisions dans votre
smartphone

MINAFORMULES

une application de



disponible sur



www.emse.fr/minaformules

Sommaire thématique de chimie

2015

e3a PSI Physique et Chimie							•						
CCP MP Physique et Chimie	•				•	•	•						
CCP PC Chimie	•	•	•				•	•	•	•	•		
CCP PC Modélisation Phys-Chimie													
CCP PSI Physique et Chimie				•		•							
Centrale MP Physique et Chimie 1	•												
Centrale MP Physique et Chimie 2	•	•		•	•	•							
Centrale PC Chimie	•			•	•				•	•	•		
Centrale PSI Physique et Chimie 1	•			•									
Centrale PSI Physique et Chimie 2													
Mines MP Chimie	•	•		•		•	•						
Mines PC Chimie		•	•	•	•				•				
Mines PSI Chimie	•	•		•		•	•						
X/ENS PC Chimie			•	•			•		•				
	Cristallographie	Solutions aqueuses	Cinétique chimique	Oxydoréduction	Diagrammes E-pH	Courbes courant-potentiel	Thermodynamique	Mélanges binaires	Chimie organique	Orbitales moléculaires	Chimie de coordination		

SESSION 2015

MPPH008



CONCOURS COMMUNS
POLYTECHNIQUES

EPREUVE SPECIFIQUE - FILIERE MP

PHYSIQUE

Durée : 4 heures

N.B. : le candidat attachera la plus grande importance à la clarté, à la précision et à la concision de la rédaction. Si un candidat est amené à repérer ce qui peut lui sembler être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

Les calculatrices sont interdites

Les applications numériques seront réalisées de manière approchée, avec un nombre de chiffres significatifs appropriés.

PROBLEME I

Données

$$\text{Permittivité diélectrique du vide : } \varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi \cdot 10^9} \text{ F.m}^{-1}$$

$$\text{Perméabilité magnétique du vide : } \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H.m}^{-1}$$

Pour les calculs numériques, on donne les valeurs approchées :

$$\ln 1,1 \cong 0,13 \quad \ln 3 \cong 1,1 \quad \ln 7,1 \cong 2,0 \quad \ln 40 \cong 3,7$$

Ce problème se divise en quatre parties : la première partie définit l'inductance dans une configuration coaxiale ; la deuxième partie est une étude de documents présentés en annexes sur les puissances pulsées ; la troisième partie s'intéresse au flux magnétique ; la quatrième partie concerne l'optimisation du dispositif de compression de flux. Les trois premières sont totalement indépendantes. La résolution de la quatrième partie nécessite les résultats de la première partie.

Une autre voie vers la fusion thermonucléaire : les Z machines

Première partie - Inductance dans une configuration coaxiale

Dans un repère cartésien $(O, \vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z)$, un câble coaxial, considéré comme infiniment long et placé dans un milieu de perméabilité magnétique μ_0 , est formé de deux armatures cylindriques de

même axe $z'z$ (figure 1). L'armature intérieure (l'âme) est un cylindre creux de rayon a ; l'armature extérieure (la gaine) est un cylindre creux de rayon b . Le courant continu d'intensité I qui circule dans l'âme dans le sens de \vec{e}_z revient avec la même intensité dans la gaine selon $-\vec{e}_z$; ce câble constitue ainsi un circuit fermé.

A un point M de l'espace, on associera les coordonnées cylindriques (ρ, ϕ, z) et la base orthonormée directe cylindrique $\mathcal{B}_{\text{cyl}} = (\vec{e}_\rho, \vec{e}_\phi, \vec{e}_z)$.

- I.1.a)** Exploiter les symétries et les invariances de la distribution de courant pour déterminer l'orientation du champ magnétostatique $\vec{B}(M)$ créé par ce câble ainsi que les variables dont il peut dépendre en un point M quelconque de l'espace.
- I.1.b)** Donner la valeur de $\vec{B}(M)$ pour un point M intérieur à l'âme ($\rho < a$) ou extérieur à la gaine ($b < \rho$). Justifier.
- I.1.c)** Dans la base \mathcal{B}_{cyl} , exprimer le champ magnétostatique $\vec{B}(M)$ créé par ce câble en tout point M situé à la distance ρ ($a < \rho < b$) de son axe.
- I.2.a)** Calculer le flux de $\vec{B}(M)$ à travers la surface rectangulaire $(PQRS)$ correspondant à une longueur l du câble, représentée sur la figure 1 et orientée dans le sens de $+\vec{e}_\phi$.
- I.2.b)** Rappeler l'expression générale qui lie le flux de $\vec{B}(M)$ à l'inductance propre (ou coefficient d'auto-inductance) et en déduire l'inductance L d'une longueur l du câble en fonction de μ_0 , l , a et b .
- I.2.c)** Application numérique pour un câble standard : calculer L si : $l = 1$ m, $a = 1$ mm, $b = 3$ mm.
- I.2.d)** Application numérique pour un dispositif à compression de flux qui sera développé en troisième et quatrième parties de ce problème : calculer L si : $l = 66$ mm, $a = 1,0$ mm, $b = 40$ mm.

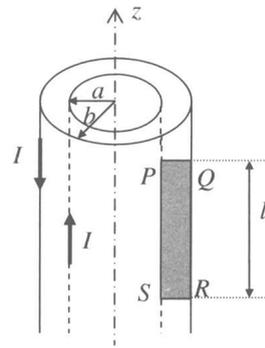


Figure 1 - Représentation schématique d'un câble coaxial. Surface rectangulaire $(PQRS)$ comprise entre l'âme et la gaine.

Deuxième partie - Contexte des hautes puissances pulsées

Étude des documents présentés en annexes 1, 2 et 3 (pages 6 à 9)

- I.3.a)** Décrire en deux à cinq lignes le phénomène physique de striction magnétique et ses causes.
- I.3.b)** Décrire en deux à cinq lignes le phénomène physique de Z-pinch.
- I.3.c)** Expliquer en deux à cinq lignes et à partir de vos connaissances personnelles, en quoi le Z-pinch s'approche des conditions favorables pour la fusion thermonucléaire contrôlée.
- I.4.a)** Décrire sommairement en une à deux lignes les deux actions nécessaires à un fonctionnement optimal d'une machine à hautes puissances pulsées.
- I.4.b)** Pour une machine capable de stocker une énergie de 1 MJ et de la délivrer en un temps caractéristique de 100 ns, donner la puissance mise en jeu. Comparer avec l'ordre de grandeur de la puissance moyenne délivrée par un réacteur conventionnel de centrale nucléaire.

Troisième partie - Principe de conservation du flux magnétique et amplification en courant

Cas d'un circuit inductif indéformable

On s'intéresse à l'évolution libre d'un circuit inductif. Initialement, le circuit inductif est alimenté par un générateur (interrupteur K ouvert). A l'instant $t=0$, le générateur est déconnecté, l'interrupteur K est fermé. Le circuit inductif est parcouru par un courant d'intensité I_0 . On adopte le modèle simple de l'association en série d'une inductance L et d'une résistance r , comme représenté sur la figure 2.

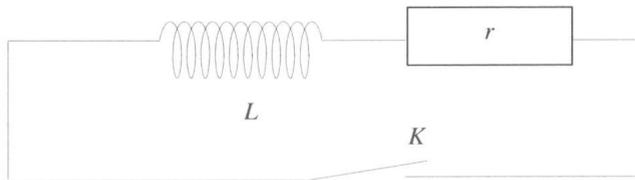


Figure 2 - Circuit inductif modélisé par une inductance et une résistance en série.

- I.5.a)** Etablir l'équation différentielle à laquelle obéit l'intensité $i(t)$ dans le circuit après l'instant initial.
- I.5.b)** Résoudre cette équation en tenant compte des conditions initiales.
- I.5.c)** Tracer l'allure de $i(t)$ et identifier sur le graphe le temps caractéristique dont on donnera l'expression en fonction de r et L .
- I.5.d)** Si on néglige les pertes dans le circuit inductif (donc $r \rightarrow 0$), quelle hypothèse peut-on légitimement faire sur l'intensité ?

On supposera cette hypothèse réalisée pour la suite de cette troisième partie.

- I.5.e)** En déduire la conservation du flux magnétique à travers le circuit inductif au cours du temps pour ce circuit supposé ici indéformable.
- I.5.f)** Conclure sur la force électromotrice d'induction $e_i(t)$ de ce circuit.

Cas d'un circuit déformable

On s'intéresse à présent à un circuit inductif dont on fait varier la géométrie et au sein duquel on néglige les pertes. On remarque alors que $L(t)$ varie au cours du temps et que $r \approx 0 \Omega$. Par le même raisonnement que précédemment, ce circuit est parcouru par un courant d'intensité I_0 à l'instant initial.

- I.6.a)** Justifier que la force électromotrice d'induction est nulle à tout instant.
- I.6.b)** En déduire la conservation du flux magnétique au cours du temps pour ce circuit déformable.
- I.6.c)** En vous appuyant sur l'expression de L obtenue en **I.2.b)**, proposer une évolution de la géométrie radiale du dispositif (paramètres a et b) permettant d'obtenir une élévation de l'intensité du courant bien au-delà de sa valeur I_0 initiale.

Quatrième partie - Optimisation du dispositif de compression

L'amplification de courant, dont le principe a été posé dans la partie précédente, peut être mise à profit afin de créer un Z-pinch comme le montre la figure 3 extraite de la thèse de Mathias BAVAY (annexe 2, page 8).

Cette coupe représente une demi-structure coaxiale. En son sein, le déplacement du « liner de plasma » qui forme la boucle I_2 provoque l'élévation du courant. Cette dernière est exploitée dans la partie supérieure, au niveau du pinch.

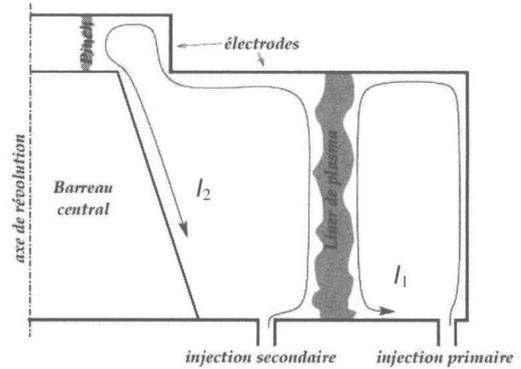


Figure 3 - Principe général de la compression de flux. Coupe dans un plan contenant l'axe de révolution.

Dans la partie qui suit, on traite de l'optimisation géométrique du dispositif en modélisant la partie du Z-pinch comme une « inductance morte » notée L_f tandis que l'inductance de compression est notée L .

La demi-coupe du circuit est donnée sur la figure 4. On utilisera les notations de cette figure dans la suite.

La distance R donne la position du liner au cours de la compression. Lors de la fermeture par le liner de l'orifice d'injection secondaire, la distance R prend la valeur R_0 . C'est donc à partir de cet instant et de cette position que la compression de flux débute.

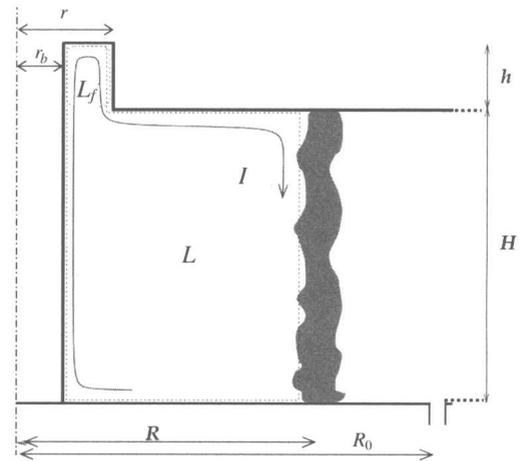


Figure 4 - Demi-coupe du circuit.

Inductance totale et flux piégé

- I.7.a) Proposer un modèle de circuit pour la boucle de courant $I(t)$ valable pendant la phase de compression représentée sur la figure précédente en faisant apparaître les inductances L_f et L .
- I.7.b) Démontrer que l'inductance équivalente peut s'écrire $L_{eq} = L_f + L$; on notera L_{eq0} sa valeur au début de la compression et L_{eqf} sa valeur finale.
- I.7.c) En admettant qu'il s'agit de deux inductances du type décrit dans la première partie, exprimer L_{eq0} en fonction de μ_0 , H , h , r_b , r et R_0 .
- I.7.d) En déduire l'expression du flux piégé au moment de la fermeture de l'orifice d'injection secondaire en fonction de μ_0 , H , h , r_b , r , R_0 et $I_0 = I$.

Optimisation de la compression

- I.8.a)** En admettant que la compression est optimale et prend fin quand le liner atteint $R = r_b$, exprimer L_{eqf} . En déduire le rapport de l'intensité finale I_{\max} à l'intensité initiale I_0 en fonction de H, h, r_b, r et R_0 .
- I.8.b)** Comment choisir la hauteur H par rapport à h pour obtenir une compression optimale ?
- I.8.c)** Comment choisir les rayons r_b, r et R_0 pour obtenir une compression optimale ?
- I.8.d)** Calculer l'amplification de courant I_{\max}/I_0 dans une configuration typique pour laquelle : $H = 15 \text{ cm}$, $h = 2,0 \text{ cm}$, $r_b = 0,70 \text{ cm}$, $r = 0,80 \text{ cm}$, $R_0 = 5,0 \text{ cm}$. Sachant que le courant injecté est de l'ordre de $I_0 \cong 1,2 \text{ MA}$, calculer I_{\max} .

Coût énergétique de la compression de flux

- I.9.a)** Rappeler l'expression générale de l'énergie stockée dans une bobine, en fonction de l'inductance L de la bobine et de l'intensité I du courant qui la traverse.
- I.9.b)** Exprimer les énergies emmagasinées dans le système E_0 à l'instant initial et E_f à l'instant final, en fonction de L_{eq0} , L_{eqf} et des courants correspondants.
- I.9.c)** Montrer que le coût énergétique ΔE de la compression entre ces deux instants peut se mettre sous la forme $\Delta E = \alpha E_0$ et exprimer α en fonction de L_{eq0} et L_{eqf} .

Optimisation du courant injecté

Le générateur primaire qui alimente le liner fournit l'énergie nécessaire pour réaliser la compression. Si elle s'avère insuffisante, la compression ne pourra pas aller jusqu'au gain maximum en courant : elle s'arrêtera prématurément. On peut légitimement considérer que l'énergie disponible est bornée et représente une grandeur constante ΔE_{disp} quand on cherche à optimiser le fonctionnement du système.

- I.10.a)** Déduire de la question **I.9.c)** (Coût énergétique de la compression de flux) qu'il convient de minimiser l'énergie E_0 .
- I.10.b)** Montrer que le point de fonctionnement optimum est atteint pour un courant I_0 le plus faible possible dans une inductance L_{eq0} la plus élevée possible.
- I.10.c)** En considérant une géométrie donnée, c'est-à-dire des inductances L_{eq0} et L_{eqf} connues, exprimer l'intensité optimale I_{0opt} en fonction de ΔE_{disp} , L_{eq0} et L_{eqf} .
- I.10.d)** En estimant ΔE_{disp} à 2 MJ, calculer I_{0opt} avec la configuration proposée en **I.8.d)**.

Annexe 1

Extrait de la thèse de Franck HAMANN « Conception de cavités radiatives chauffées par plasmas de striction magnétique en régime 100 ns », Ecole Polytechnique, décembre 2003.

Introduction (de la thèse)

Les premières expériences en électromagnétisme ont montré qu'un courant électrique circulant dans un milieu conducteur était capable d'engendrer des forces importantes sur celui-ci. Le courant induit un champ magnétique qui se couple avec lui pour créer des forces dites de Lorentz. Une application bien connue de ce phénomène est le moteur électrique, dont plus personne ne s'étonne du fonctionnement.

Si maintenant le milieu conducteur a une structure cylindrique, les forces de Lorentz sont dirigées vers l'axe du cylindre et tendent à l'écraser sur lui-même : on parle alors de striction magnétique. Si de plus le courant est une impulsion très intense (des millions de fois le courant circulant dans un moteur) et très courte (cent mille fois plus rapide que pour un moteur), il est alors capable de faire passer la matière conductrice du cylindre dans un état qui n'existe normalement qu'au cœur des étoiles, le plasma. Les forces de Lorentz implosent ce plasma sur lui-même et lui communiquent une importante énergie cinétique. Quand la matière arrive sur l'axe de révolution du cylindre, elle ne peut plus continuer sa course : l'énergie cinétique est violemment transformée en énergie interne et la matière n'a plus d'autres voies pour se débarrasser de cette grande quantité d'énergie que de la rayonner. Les plasmas de striction magnétique sont ainsi d'excellentes sources de rayonnement X, convertissant l'énergie électrique rayonnée avec de bons rendements (10 %).

Le rayonnement X obtenu peut être conditionné dans une petite cavité pour lui conférer des propriétés d'équilibre (isotropie et spectre planckien) : cette transformation s'appelle la densification d'énergie radiative. Cette densification n'a été réalisée expérimentalement qu'avec des générateurs dont le temps de montée du courant est de cent milliardième de seconde. La détermination des dimensions de la cavité et du plasma à utiliser pour la chauffer demande la compréhension d'un certain nombre de phénomènes physiques et des techniques de calcul associées, présentés dans ce mémoire. D'où le titre de la thèse : conception de cavités radiatives chauffées par plasmas de striction magnétique en régime 100 ns.