

« Les corrigés
les plus complets »

Annales corrigées

des problèmes posés aux

Concours 2015

Physique · Modélisation · Chimie

Nouveaux
programmes

PC

ANNALES DES CONCOURS

CCP

Centrale / Supélec

Mines / Ponts

X-ENS

Énoncés, indications, méthodes, astuces, rappels et solutions



ANNALES DES CONCOURS

PC

Physique · Modélisation · Chimie

2015

Sous la coordination de

Julien DUMONT

Professeur en CPGE

Ancien élève de l'École Normale Supérieure (Cachan)

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

Virgile ANDREANI

ENS Ulm

Aurélien ARCHEREAU

ENS Ulm

Vincent FREULON

Professeur en CPGE

Alexandre HÉRAULT

Professeur en CPGE

Jérôme LAMBERT

Enseignant-chercheur à l'université

Henri LASTAKOWSKI

ENS Lyon

Rémi LEHE

ENS Ulm

Louis SALKIN

ENS Cachan

Christelle SERBA

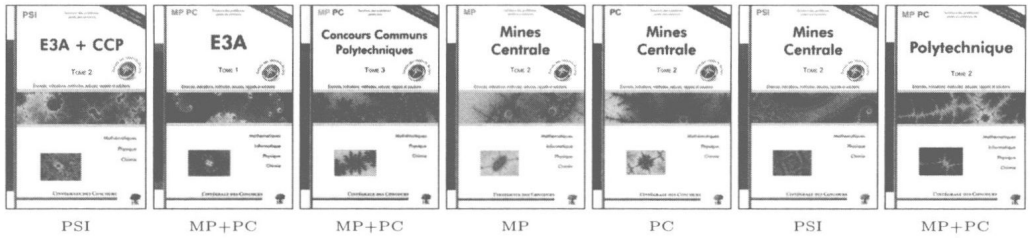
Docteur en chimie

Étienne THIBIERGE

Professeur en CPGE

Anna VENANCIO-MARQUES

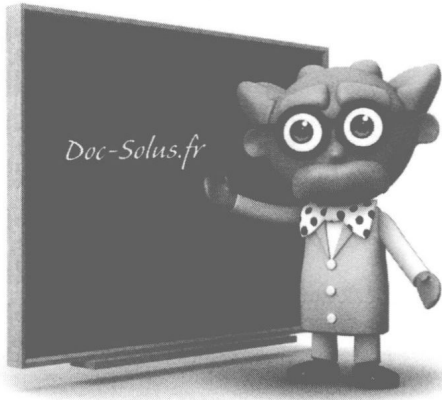
ENS Lyon



Doc Solus

Les Annales sont en ligne

968 corrigés complets
disponibles immédiatement

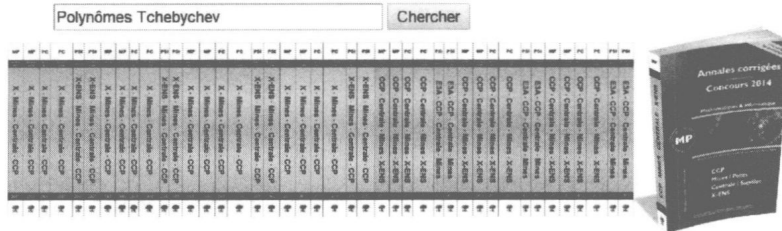


mathématiques
informatique
modélisation
physique
chimie

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 : 978-2-35141-322-7

Dépôt légal : août 2015

Imprimé en France par France Quercy, 46090 Mercuès - n° 50705D

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, Laure Valentin 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 magnétostatique	Électronique	Conversion de puissance	Mécanique du point et du solide	Mécanique des fluides	Ondes mécaniques et sonores	Électromagnétisme	Optique

Doc Solus ²⁶¹⁷⁶³

Les Annales sont en ligne!

TB1-44
P578H
2015

4,95 €
par corrigé



mathématiques
informatique
modélisation
physique
chimie

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

968 corrigés complets
disponibles immédiatement

MP
PC
PSI

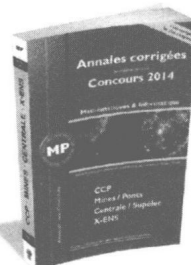
e3a · CCP · Centrale · Mines · X

2000
:
2014

Polynômes Tchebychev

Chercher

1	E3A - CCP - Centrale - Mines
2	E3A - CCP - Centrale - Mines
3	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
4	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
5	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
6	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
7	E3A - CCP - Centrale - Mines
8	E3A - CCP - Centrale - Mines
9	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
10	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
11	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
12	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
13	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
14	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
15	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
16	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
17	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
18	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
19	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
20	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
21	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
22	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
23	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
24	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
25	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
26	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
27	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
28	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
29	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
30	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
31	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
32	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
33	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
34	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
35	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
36	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
37	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
38	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
39	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
40	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
41	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
42	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
43	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
44	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
45	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
46	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
47	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
48	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
49	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
50	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
51	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
52	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
53	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
54	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
55	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
56	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
57	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
58	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
59	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
60	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
61	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
62	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
63	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
64	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
65	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
66	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
67	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
68	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
69	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
70	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
71	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
72	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
73	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
74	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
75	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
76	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
77	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
78	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
79	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
80	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
81	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
82	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
83	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
84	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
85	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
86	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
87	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
88	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
89	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
90	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
91	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
92	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
93	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
94	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
95	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
96	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
97	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
98	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
99	CCP - Centrale - Mines - X-ENS
100	CCP - Centrale - Mines - X-ENS



Doc-Solus.fr



Sommaire

		Énoncé	Corrigé
CONCOURS COMMUNS POLYTECHNIQUES			
Physique	Thermohydraulique, lunette astronomique et récupération d'énergie vibratoire. <i>diffusion thermique, thermodynamique, mécanique des fluides, optique géométrique, mécanique, électrostatique</i>	11	26
Modélisation Physique et Chimie	Simulation numérique du transfert thermique dans un mur en régime transitoire. <i>diffusion thermique, méthode des différences finies</i>	45	57
Chimie	Autour du calcium. Synthèse de l'amphidinol 3. <i>cristallographie, solutions aqueuses, thermodynamique, cinétique chimique, chimie organique, orbitales moléculaires, chimie de coordination, mélanges binaires</i>	73	87
CENTRALE-SUPÉLEC			
Physique 1	Son et audition. <i>ondes sonores, mécanique des fluides, électronique</i>	105	113
Physique 2	Traitement des eaux usées. <i>électromagnétisme, magnétostatique, mécanique des fluides, mécanique du point, diffusion de particules</i>	133	141
Chimie	Wacker, Heck, Tsuji et le palladium. <i>chimie organique, chimie de coordination, oxydoréduction, cristallographie, orbitales moléculaires, diagrammes E-pH</i>	159	171

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*



MINES-PONTS

Physique 1	Aspects de la propulsion spatiale. <i>thermodynamique, mécanique, électromagnétisme</i>	193	199
Physique 2	Ondes internes en vallée encaissée. <i>mécanique des fluides, thermodynamique, ondes</i>	215	222
Chimie	Chimie atmosphérique. Bétadine. Synthèse totale du (-)-FR182877. <i>solutions aqueuses, cinétique chimique, oxydoréduction, diagrammes E-pH, chimie organique</i>	235	257

POLYTECHNIQUE-ENS

Physique A	Objectif Lune. <i>optique, mécanique du point, mécanique du solide</i>	275	283
Physique B	Trajectoire d'un volant de badminton. <i>mécanique, électromagnétisme, électrostatique</i>	301	305
Chimie	Relations quantitatives entre structures moléculaires et propriétés physico-chimiques. Biosynthèse et synthèse totale des alcaloïdes. <i>thermodynamique, cinétique chimique, oxydoréduction, chimie organique</i>	325	344

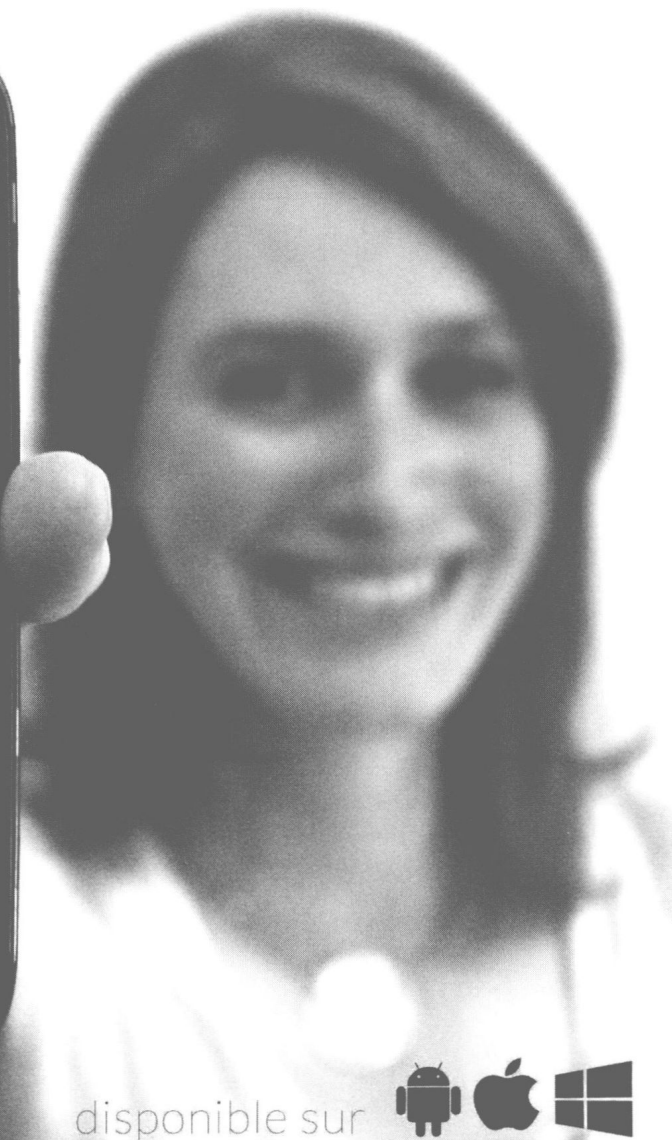
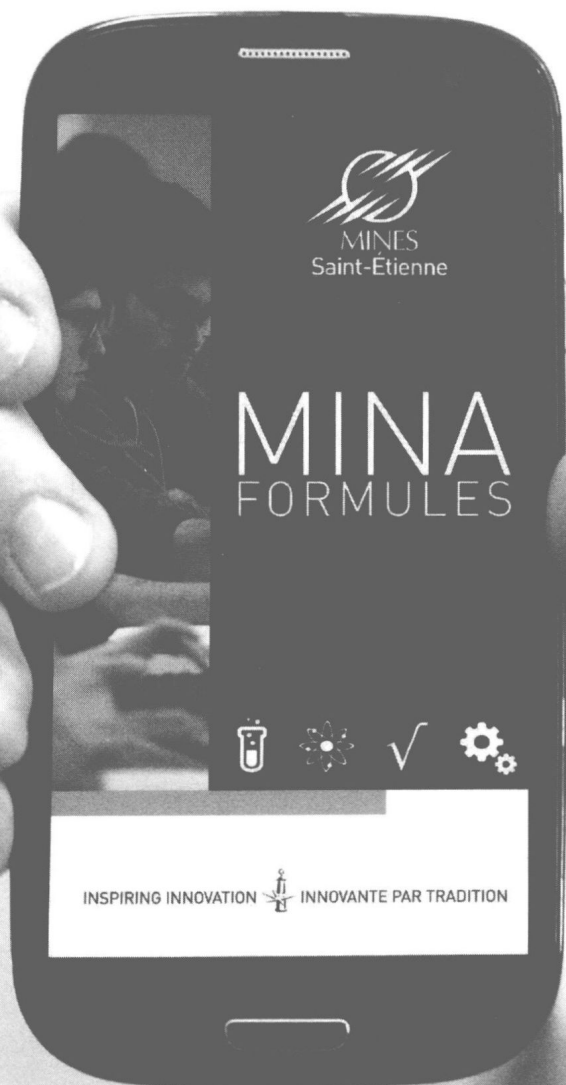
FORMULAIRES

Constantes physiques	379
Constantes chimiques	376
Formulaire d'analyse vectorielle	380
Classification périodique	384

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

PCPH003

**CONCOURS COMMUNS
POLYTECHNIQUES****EPREUVE SPECIFIQUE - FILIERE PC****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 autorisées

Les trois problèmes sont indépendants.

Leurs poids respectifs sont approximativement de 50 %, 15 % et 35 %.

PROBLEME A : ELEMENTS DE THERMOHYDRAULIQUE

Ce problème a pour objectif d'étudier des aspects de thermohydraulique du combustible nucléaire des réacteurs nucléaires à eau pressurisée (REP). Les REP exploitent l'énergie libérée par la fission de noyaux d'uranium 235 provoquée par des flux de neutrons pour chauffer l'eau d'un premier circuit, appelé circuit primaire. Le combustible nucléaire est le siège des réactions de fission. Il est confiné dans des gaines métalliques. La forme chimique de l'uranium qui a été retenue pour le combustible des REP est l'oxyde UO_2 , qui est plus stable chimiquement avec l'eau, en cas de rupture de la gaine.

Si le combustible nucléaire possède généralement une géométrie cylindrique, il peut être parallélépipédique comme dans le présent problème, il est alors qualifié de combustible « plaque ». Pour limiter les températures de la gaine et de l' UO_2 , il faut maintenir une circulation minimale de l'eau du circuit primaire. Ce débit dépend directement des pertes de pression dues à la circulation du fluide.

Dans une première partie, nous allons étudier la thermique simplifiée d'une plaque de combustible nucléaire sans sa gaine. La deuxième partie conduit à l'élaboration du profil radial de température du combustible avec sa gaine. La troisième partie permet l'évaluation des pertes de pression, ce qui fixe une première contrainte quant au dimensionnement de la pompe associée au circuit primaire.

Les trois parties A.1, A.2 (à l'exception de la question A.2.2 liée à la partie A.1) et A.3 sont indépendantes.

A.1- Thermique (simplifiée) d'une plaque de combustible nucléaire sans la gaine

Soit une plaque de combustible nucléaire dans laquelle des réactions nucléaires, réparties uniformément, dégagent une puissance thermique volumique φ_v constante. $\varphi_v = 500 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-3}$ est la puissance thermique produite par unité de volume de combustible. Cette plaque parallélépipédique est d'épaisseur $2 \cdot e = 4,0 \text{ mm}$, de largeur $l = 7,5 \text{ cm}$ et de hauteur $H = 1,0 \text{ m}$ (figure 1).

Le combustible nucléaire est un corps solide homogène de masse volumique ρ , de capacité thermique massique c et de conductivité thermique $\lambda = 3,65 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Nous supposons que ρ , λ et c sont indépendants de la température. Dans tout ce problème, on se placera en régime permanent, dans le plan (xOz) et à une cote z fixe pour établir les profils de température $T(x)$ selon l'axe des x . On suppose qu'il n'y a pas d'échange d'énergie autre que par conduction et selon la direction x . Dans ces conditions, la plaque est réfrigérée à gauche par un fluide 1 qui impose une température de paroi $T_1 = T(x = -e)$ et à droite par un fluide 2 qui impose une température de paroi $T_2 = T(x = e)$.

On rappelle que l'expression générale de l'équation de la chaleur s'écrit : $\rho \cdot c \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \varphi_v + \lambda \cdot \Delta T$, où ΔT représente le laplacien de la température T . En coordonnées cartésiennes, l'opérateur laplacien ΔT a pour expression : $\Delta T = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$.

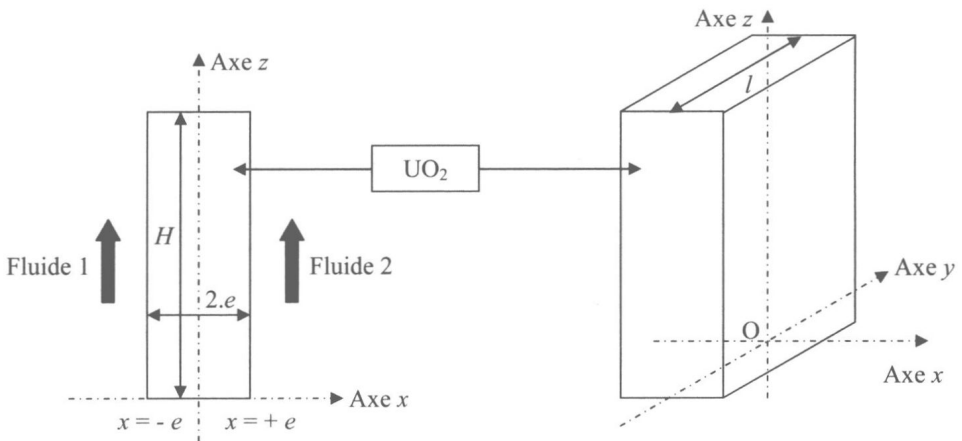


Figure 1 : plaque de combustible nucléaire sans gaine avec son refroidissement

A.1.1- Donner l'expression littérale de la puissance thermique P_{th} produite dans le combustible, puis calculer sa valeur.

A.1.2- Donner l'expression littérale de $T(x)$ en fonction de φ_v , T_1 , T_2 , e et λ . En déduire l'expression littérale de x_{max} , valeur de x pour laquelle la température est maximale, ainsi que cette dernière, T_{max} , en fonction de φ_v , T_1 , T_2 , e et λ .

A.1.3- Dans le cas où $T_1 = T_2 = 540$ K, calculer les valeurs de x_{\max} et T_{\max} , puis tracer le profil de température $T(x)$ dans la plaque.

A.1.4- Dans le cas où $T_1 = 580$ K et $T_2 = 540$ K, calculer les valeurs de x_{\max} et T_{\max} , puis tracer le profil de température $T(x)$ dans la plaque.

On considère que les fluides de refroidissement arrivent à la même température et à la même pression en bas de la plaque combustible ($z = 0$) mais possèdent des vitesses d'écoulement différentes : v_1 pour le fluide 1 et v_2 pour le fluide 2.

En justifiant votre réponse, dire lequel de ces deux fluides possède la vitesse d'écoulement la plus élevée pour avoir $T_1 > T_2$.

A.2- Profils de température

A.2.1- On considère un solide formé de deux parties parallélépipédiques distinctes A et B, de même hauteur H , de même largeur l , mais d'épaisseurs différentes, respectivement e_1 et e_2 (figure 2). Leurs propriétés physiques sont homogènes mais différentes. On leur associe respectivement les conductivités thermiques λ_A et λ_B . Il n'y a aucun dégagement de puissance dans ces deux solides qui, par ailleurs, sont reliés sans résistance thermique. Les températures $T_0 = T(x=0)$ et $T_2 = T(x=e_1+e_2)$ sont fixées.

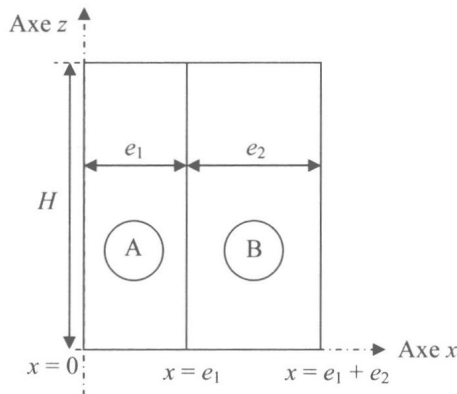


Figure 2 : solide composé de deux parties A et B

On suppose qu'il n'y a pas d'échange d'énergie autre que par conduction et selon la direction x . Déterminer, en le justifiant, si chacun des quatre profils de température $T(x)$ proposés (figure 3, page suivante) est, en régime permanent, possible ou non. Pour le ou les profils possibles, vous préciserez le sens du vecteur densité de flux thermique ainsi que la ou les valeurs de la température en $x=e_1$ en fonction de λ_A , λ_B , e_1 , e_2 , T_0 et T_2 .

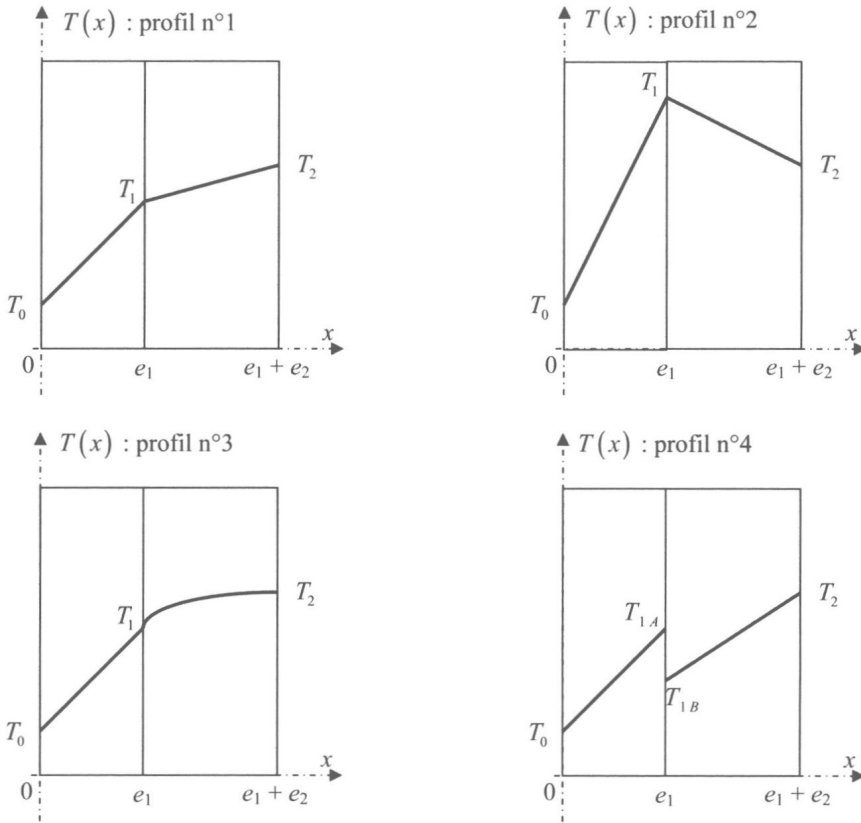


Figure 3 : profils de température dans un solide composé de deux parties A et B

A.2.2.- Représenter, schématiquement, le profil de température radial $T(x)$ en régime permanent, à z fixé et compris entre 0 et H , dans la gaine et dans le combustible UO_2 d'une plaque combustible gainée (figure 4). Le fluide de refroidissement arrive, de part et d'autre du combustible plaque, à la même température et à la même pression en bas de la plaque combustible ($z = 0$) et possède la même vitesse d'écoulement. Il n'y a pas de fission dans la gaine. L' UO_2 et la gaine sont reliés sans résistance thermique.

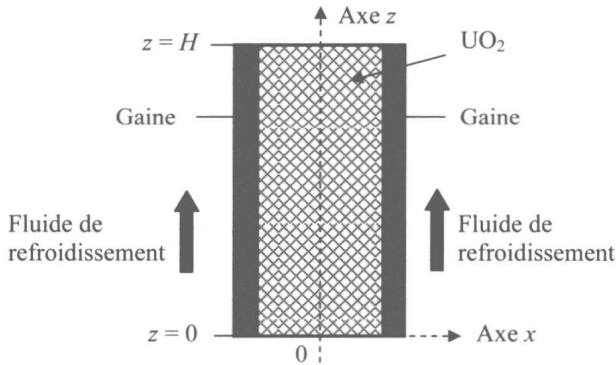


Figure 4 : élément combustible plaque avec sa gaine

A.3- Pertes de pression dans une conduite

Le combustible nucléaire, isolé par sa gaine, est réfrigéré par une circulation d'eau appelée « eau primaire ». Cette eau s'écoule de façon unidimensionnelle ascendante dans une conduite de section rectangulaire et constante, de surface S , de largeur $l = 7,5$ cm égale à la largeur de la plaque combustible et d'épaisseur $d = 5,0$ mm (figure 5). Cette conduite est aussi appelée canal. Au cours de son parcours dans le canal, l'eau primaire est chauffée à puissance constante sur toute la hauteur $H = 1,0$ m de la conduite.

La pression en sortie de la conduite ($z = H$) est maintenue constante à 6,89 MPa.

Les caractéristiques du fluide en entrée en $z = 0$ sont : température $T_e = 477$ K, enthalpie massique $h_e = 872$ kJ.kg⁻¹, masse volumique $\rho_e = 858$ kg.m⁻³, viscosité dynamique $\mu_e = 1,35 \cdot 10^{-4}$ Pa.s.

Les propriétés physiques de l'eau à 6,89 MPa sont : température de saturation $T_{sat} = 558$ K, enthalpie massique à l'état de liquide saturant $h' = 1\,260$ kJ.kg⁻¹, enthalpie massique à l'état de vapeur saturante $h'' = 2\,770$ kJ.kg⁻¹.

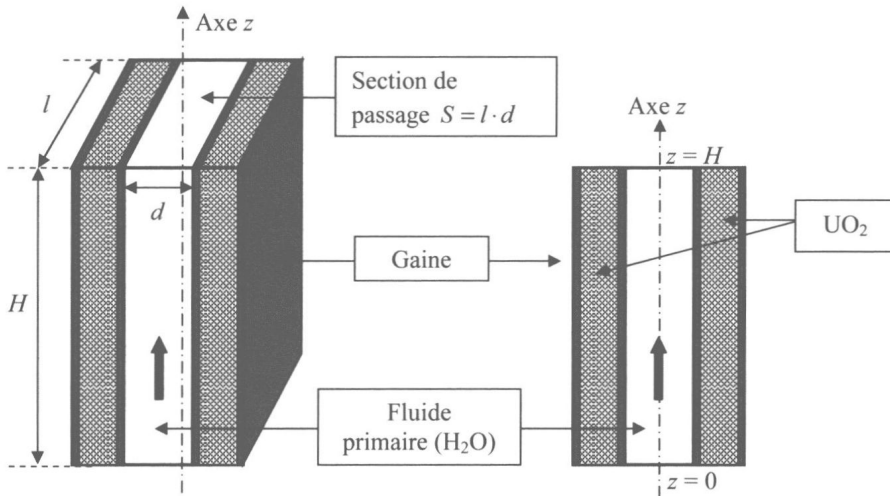


Figure 5 : fluide dans une conduite de section rectangulaire

Pour les questions A.3.1-, A.3.2- et A.3.3-, on considérera la pression de l'eau primaire constante à 6,89 MPa dans toute la conduite.

A.3.1- On rappelle que l'équation locale de conservation de la masse dans un milieu sans source ni puits s'écrit : $\frac{\partial \rho(M,t)}{\partial t} + \text{div}(\rho(M,t) \cdot \vec{v}(M,t)) = 0$ avec $\rho(M,t)$ la masse volumique du fluide en un point M et à un instant t donné, $\vec{v}(M,t)$ le vecteur vitesse du fluide en un point M de la conduite et à un instant t donné. On considère un fluide monophasique liquide qui s'écoule de façon ascendante selon l'axe des z . Il possède, à la cote z , une masse volumique $\rho(z)$ et une vitesse $v(z)$ (figure 5).

Montrer que, lorsque l'écoulement est en régime permanent, la vitesse massique $G(z) = \rho(z) \cdot v(z)$ et le débit massique $D_m(z) = \rho(z) \cdot S \cdot v(z)$ sont indépendants de la cote z . Ils seront désormais notés respectivement G et D_m .

A.3.2- On considère comme système un volume de conduite fixe dV , de section constante S (figure 6), parcouru, de façon ascendante, par un fluide. Le fluide entre dans le volume dV à la cote z , à la pression $P(z)$, avec une vitesse $v(z)$ et une enthalpie massique $h(z)$, il en sort à la cote $z + dz$, à la pression $P(z + dz)$, avec une vitesse $v(z + dz)$ et une enthalpie massique $h(z + dz)$.

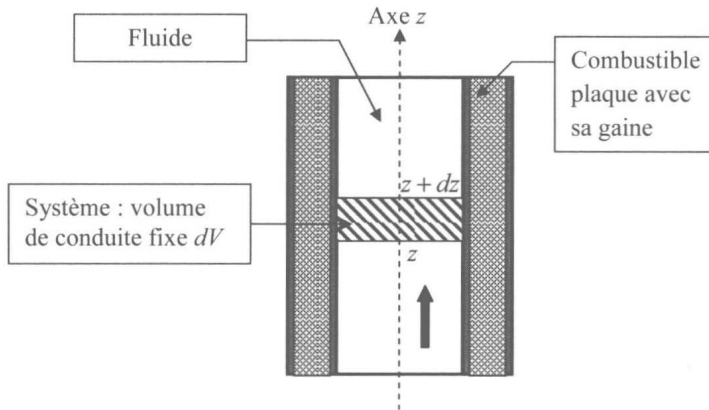


Figure 6 : volume de conduite fixe traversé de façon ascendante par le fluide

Le bilan de conservation de l'énergie interne effectué sur le volume $dV = S \cdot dz$ permet d'obtenir, pour un fluide non visqueux, la relation : $\frac{\partial(u)}{\partial t} \cdot S \cdot dz = D_m \cdot h(z) - D_m \cdot h(z + dz) + \varphi_L \cdot dz$ où φ_L est la puissance thermique échangée par unité de longueur, supposée ici indépendante de z , D_m est le débit massique et u la densité volumique d'énergie interne du fluide.

Montrer qu'en régime permanent cette relation se traduit par : $D_m \cdot \frac{dh(z)}{dz} = \varphi_L$. Déterminer alors l'expression littérale de l'enthalpie massique du fluide à la sortie de la conduite $h_s = h(z = H)$ en fonction de : h_e , φ_L , H et D_m . On donne $\varphi_L = 150 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-1}$, $D_m = 0,10 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ et $H = 1,0 \text{ m}$, calculer la valeur de h_s . Qu'en concluez-vous ? Calculer la cote z_{eb} de transition monophasique/diphase dite cote d'ébullition.

Pour la suite du problème, afin de garantir un écoulement monophasique liquide, nous considérerons désormais un débit massique de $1 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$. Dans ces conditions, la masse volumique du fluide en sortie de conduite ρ_s sera égale à $806 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

A.3.3- Vérifier, qu'avec ces nouvelles conditions, l'écoulement demeure monophasique liquide.