

وزارة التربية الوطنية
MINISTRE DE L'EDUCATION NATIONALE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

الدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT : GENIE MECANIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

ETUDE ET CONCEPTION
D'UN REACTEUR NUCLEAIRE POUR
LE DESSALEMENT D'EAU DE MER

Proposé par :

B.TATAH

Etudié par :

A.BRAKBI
A.TOUNSI

Dirigé par

S.LARBI
B.TATAH

PROMOTION

1993

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التربية الوطنية
MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT : GENIE MECANIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

ETUDE ET CONCEPTION
D'UN REACTEUR NUCLEAIRE POUR
LE DESSALEMENT D'EAU DE MER

Proposé par :
B.TATAH

Etudié par :
A.BRAKBI
A.TOUNSI

Dirigé par
S.LARBI
B.TATAH

PROMOTION
1993

ملخص:
في هذا العمل قد درسنا مفاعل نووي ذو واستطاعة
200 ميغاوات حراري لتحلية مياه البحر بطريقة م.س.ف.

RESUME :

Dans le cadre de ce projet , on a etudie un reacteur nucleaire
d'une puissance de 200 Mwth pour le dessalement d'eau de mer
suivant le procede M.S.F.

ABSTRACT :

In this work we have analysed some elements of a nuclear
reactor for seawater desalination according to an M.S.F
process .

DEDICACES

JE DEDIE CE TRAVAIL A MES

CHERS PARENTS

A MES CHERS SOEURS

A MON FRERE AHCENE

ET A TOUTS MES AMIS

BAUACHE

JE DEDIE CE MODESTE TRAVAIL

A MES CHERS PARENTS

A MES FRERES ET SOEURS

ET A MES AMI(E)S

TAHMED

REMERCIEMENTS :

Nous tenons à remercier Monsieur B.TATAH, directeur du secrétariat d'état à la recherche pour nous avoir donné l'occasion d'aborder dans le cadre de notre projet de fin d'études un sujet aussi ardu que passionnant , ainsi que pour avoir mis à notre disposition tous ce qui était nécessaire pour la bonne marche de ce travail .

Nous adressons également nos vifs remerciements à Monsieur S.LARBI , enseignant à l'E.N.P pour sa permanente sollicitude ainsi que pour ses conseils de valeur qui nous ont énormément aidés .

Notre gratitude va également vers Messieurs S.GANESAN et T.ZIDI de l'A.I.E.A qui ont effectué pour nous des passages sur le code WIMS-D4 , ainsi que vers Messieurs K.AMARA , conservateur de la bibliothèque de l'E.N.P , Y.GRAR et S.HACHED du laboratoire architecture des systemes qui étaient disponibles à chaque fois qu'on les a sollicité sans oublier nos amis N.CHIKHI , L.SIAOUI , K.NOUAL , A.OUALI , A.ZAIT et K.MAACHOU .

Que toutes les personnes qui ont contribué un tant soit peu à ce travail et dont les noms ne sont pas cités , trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude .

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : ETUDE DU DESSALEMENT	
I-1- Distribution et classification des eaux	3
I-2- Methodes de dessalement des eaux de mer	4
I-3- Presentation des differents procedes de dessalement	4
I-3-1- Le mutiflash (M.S.F)	4
I-3-1-1- M.S.F avec recyclage	5
I-3-1-2- M.S.F sans recyclage	5
I-3-2- Distillation a effet multiple (M.E.D)	5
I-3-2-1- Distillation a effet multiple avec evaporateur a tubes horizontaux	5
I-3-2-2- Distillation a effet multiple avec evaporateur a tubes verticaux	6
I-3-3- Osmose inverse (R.O)	7
I-4- Autres procedes	7
I-4-1- Congelation	7
I-4-2- Distillation par effet solaire	8
I-4-3- Electrodialyse (E .D)	8
I-5- Etude de l'installation de dessalement	8
I-5-1- Calcul du debit d'eau d'alimentation	9
I-5-2- Debit specifique de saumure	11
I-5-3- Temperature de l'eau d'alimentation a l'entree du condenseur du 10 ^{eme} etage	11
I-5-4- Calcul du debit de vapeur dans le rechauffeur principal	12
I-5-5- Calcul des capacites reelles de production de chaque etage	13
I-5-6- Calcul des sections de passage de l'eau d'alimentation	14
I-5-7- Calcul des sections de passage du distillat d'un etage vers l'autre	14
I-5-8- Calcul de l'apport energetique necessaire aux unites de dessalement	15

CHAPITRE II : ETUDE NEUTRONIQUE

II- Schema de principe d'un reacteur nucleaire	16
II-1- Liaison gaine-combustible	17
II-2- Couplage du reacteur avec l' unite de dessalement	17
II-3- Rappels de neutronique	17
II-3-1- Interactions neutroniques	17
II-3-1-1- La diffusion elastique	18
II-3-1-2- La diffusion inelastique	18
II-3-1-3- La capture radiative	18
II-3-1-4- Reactions productrices de neutrons	18
II-3-1-5- La fission	18
II-4- Sections efficaces	18
II-4-1- Sections efficaces microscopiques	18
II-4-2- Sections efficaces macroscopiques	19
II-4-3- Libres parcours moyens	20
II-4-4- Taux de reaction	20
II-4-5- Neutrons thermiques	21
II-5- Theorie des reacteurs nucleaires	21
II-5-1- Equation de continuite	21
II-5-2- Theorie a un groupe	22
II-5-2-1- Distribution radiale du flux	24
II-5-2-2- Distribution axiale du flux	24
II-5-3- Theorie multigroupe	25
II-5-3-1- Application a 4 groupes d'energie	27
II-6- Notion de cellule	30
II-7- Calcul des concentrations des differents isotopes dans la cellule elementaire	30
II-7-1- Milieu combustible	30

II-7-2- Milieu gaine	31
II-7-3- Milieu eau	31
II-8- Calcul des constantes neutroniques du combustible	32
II-8-1- Section efficace macroscopique moyenne d'absorption	32
II-8-2- Section efficace macroscopique de fission	32
II-8-3- Section efficace macroscopique de diffusion	32
II-8-4- Coefficient et longueur de diffusion du combustible	33
II-9- Calcul des constantes neutroniques du modérateur	
II-9-1- Section efficace macroscopique d'absorption	33
II-9-2- Section efficace macroscopique de diffusion	34
II-9-3- Coefficient et longueur de diffusion du modérateur	34
II-10- Calcul de la section efficace d'absorption moyenne et du coefficient de diffusion du groupe thermique	34
II-10-1- Détermination du facteur d'utilisation thermique f	34
II-10-2- Facteur de désavantage	35
II-11- Calcul de la taille critique du cœur nu à partir des sorties de code WIMS-D4	36
II-11-1- Calcul du laplacien matière	37
II-11-2- Volume du cœur critique	39
II-11-3- Calcul des dimensions réelles du cœur nu	39
II-11-4- Calcul de la puissance spécifique	39
II-12- Étude du cœur réfléchi	43
II-12-1- Calcul de la masse et du nombre d'éléments combustible dans le cœur réfléchi	49

CHAPITRE III : ETUDE THERMOHYDRAULIQUE

III-1- Etude en convection naturelle	50
III-1-1- Distribution de la temperature dans l'element combustible	50
III-1-2- Distribution de la temperature dans l'helium et dans la gaine	51
III-1-3- Etude des pertes de charge	53
III-1-3-1- Calcul des vitesses en fonction de la vitesse dans le canal principal (V_c)	54
III-1-3-2- Calcul des pertes de charge	54
III-1-4- Calcul de la temperature et de la vitesse de l'eau a la sortie de l'element combustible - temperature de gaine	59
III-1-4-1- Calcul de la pression ascensionnelle	59
III-1-4-2- Bilan thermique du canal	60
III-1-4-3- Distribution axiale du flux de chaleur	62
III-1-4-4- Temperature du fluide caloporteur	63
III-1-4-5- Temperature de gaine	64
III-1-4-6- Evolution de la temperature du combustible	66
III-1-4-7- Calcul du coefficient de transfert de chaleur par convection	69
III-2- Etude en convection forcee	70
III-2-1- Calcul de la vitesse dans le canal principal	70
III-2-2- Temperature du fluide caloporteur	71
III-2-3- Temperature de la gaine	71
III-2-4- Temperature du combustible	72
III-2-5- Calcul du coefficient de transfert de chaleur par convection forcee	72
III-2-6- Calcul de la puissance de pompage	73
III-2-6-1- Calcul du debit	73
III-2-6-2- Calcul des pertes de charge en regime turbulent	73

CHAPITRE IV : ETUDE DU BLINDAGE

IV-1- Calcul du facteur d'accumulation	78
IV-2- Source ponctuelle	79
IV-3- Source lineique avec blindage cylindrique	79
IV-4- Source volumique avec blindage cylindrique	80
IV-5- Blindage axial	81
IV-6- Calcul des epaisseurs des differents blindages	81
IV-6-1- Calcul de l'epaisseur du blindage radial	81
IV-6-2- Blindage axial (partie basse)	83
IV-6-3- Blindage axial (partie haute)	85
CONCLUSION	88
ANNEXE I	
ANNEXE II	

NOMENCLATURE :

- A : Surface
- A_c : Section du canal principal
- a_i : Epaisseur du i-ieme ecran du blindage
- B_m^2 : Laplacien matiere
- C : Concentration des produits de fission radioemetteurs de neutrons retardes
- C_p : Chaleur specifique
- D : Coefficient de diffusion
- D_i : Capacite de production de distillat du i-ieme etage de l' unite de dessalement
- d : Distance d'extrapolation
- f : Facteur d'utilisation thermique
- Gr : Nombre de GRASHOFF
- h : Coefficient de transfert de chaleur par convection
- h_i : Enthalpie de la vapeur dans le i-ieme evaporateur
- J : Densite de courant de neutrons
- K_{eff} : Coefficient de multiplication effectif
- K_{∞} : Coefficient de multiplication infini
- L : Hauteur du coeur du reacteur ou longueur de diffusion
- L_{ex} : Hauteur extrapolée
- L_t^2 : Aire de diffusion des neutrons thermiques
- L_r^2 : Aire de ralentissement des neutrons rapides
- m_{ov} : Debit de vapeur dans le rechauffeur principal
- m_i : Debit de vapeur dans le i-ieme evaporateur
- N : Nombre d'elements combustibles dans le reacteur
- Nu : Nombre de NUSSELT
- P : Puissance generee par unite de volume dans le reacteur
- Q : Debit volumique
- R : Rayon du coeur du reacteur
- Re : Nombre de REYNOLDS

R_{ex} : Rayon extrapole

St : Nombre de STANTON

T : temperature

T_i : Temperature de la vapeur dans le i -ieme evaporateur

t_i : Temperature de l'eau de mer a l'entree du i -ieme condenseur

t_p : Temperature a laquelle s'effectue le rejet de la saumure

U : Debit specifique de saumure

V : Volume du coeur du reacteur

V_i : Capacite volumique de production du i -ieme etage

v_0 : Vitesse des neutrons thermiques

v_{ii} : Volume specifique de la vapeur dans le i -ieme evaporateur

$V_{s.e.v}$: Charge specifique de l'espace vapeur

$V_{i.ev}$: Volume approximatif de l'espace vapeur dans le i -ieme evaporateur

w : Debit d'eau de mer

X_0 : Dose exterieure

x : Enrichissement du combustible

β : Coefficient de dilatation cubique de l'eau

χ_i : Fraction des neutrons prompts qui naissent dans le groupe i

χ'_i : Fraction des neutrons retardes qui naissent dans le groupe i

ϕ : Flux de chaleur par unite de longueur ou flux neutronique

φ : Coefficient tenant compte des pertes de chaleur dans l'environnement

η : Nombre moyen de neutrons emis par fission par neutron absorbe dans le combustible

λ : Conductivite thermique ou libre parcours moyen

μ : Coefficient d'attenuation des materiaux du blindage ou coefficient de debit

ρ : Masse volumique

ν : Viscosite cinematique

ν_k : Nombre moyen de neutrons emis dans le groupe k par neutron absorbe

σ_i : Section efficace microscopique de la reaction i

Σ_i : Section efficace macroscopique de la reaction i , ou section efficace de retrait du groupe i

Σ_{ij} : Section efficace de transfert du groupe i vers le groupe j

INDICES :

a : reaction d'absorption

C : Données se rapportant au combustible

f : Données se rapportant aux neutrons rapides , ou reaction de fission

m : Données se rapportant au modérateur

s : Données se rapportant aux neutrons thermique , ou reaction de diffusion

INTRODUCTION

GENERALE

INTRODUCTION :

Sur le plan mondial , la demande en eau potable de bonne qualite est de plus en plus forte . En effet la population augmente rapidement et les besoins en eau de l'industrie et de l'agriculture sont de plus en plus elevés.

Pour l'an 2000 , les estimations les plus modérées prédisent un déficit de 10 millions m³/J dans la région méditerranéenne , ce qui va se traduire dans certains pays par la baisse de la qualite de vie du fait que l'eau est un facteur important pour le bien etre de l'homme , alors que dans d'autre pays , cela mettra meme la vie de certaines populations en danger .

Les memes prévisions prédisent un manque de 10 millions m³/J dans le moyen orient , l'inde , le pakistan , la chine et en amérique latine .

Vu cet etat des faits , on s'oriente de plus en plus vers le recyclage des eaux useés et le dessalement d'eau de mer .L'une des plus ancienne références au traitement des eaux est tiré d'un texte medical en sanscrit datant de 2000 ans avant J.C ,on y indique comment rendre les eaux potables en les faisant bouillir au dessus d'un feu . A cette époque la seule source d'energie etait le bois , helas , de nos jours on est loin de songer a utiliser le bois comme source d'energie car il est reserve a l'industrie du papier et a la fabrication des meubles .

L'exploitation des eaux des nappes souterraine n'est pas envisagé car cette méthode exige des moyens très couteux ce qui influera sur le prix de revient du m³d'eau .

Dans certains cas il est préférable de dessaler l'eau de mer que de reutiliser les eaux d'égout qui nécessitent des prétraitements (filtration , microtamissage) vu qu'ils dépassent les normes microbiologiques (plein de bacteries) .

Les eaux de mer sont une source d'eau qu'on n'utilise que lorsqu'il n'ya pas de moyens de s'approvisionner en eau douce , elles sont caracterisées par leur concentration en sel dissous que l'on appelle salinite ,et qui varie entre 33000 et 37000 mg/l .

Jusqu'au debut du siecle , on determinait si une eau etait potable seulement a partir des sens .L'eau devait etre agréable au gout , depourvue d'odeur désagréable et limpide .

La reduction de la salinite de l'eau de mer peut etre realisé par plusieurs procédés (distillation , congelation , electrodialyse , ...) qui sont alimentés par une source d'energie qui peut etre un combustible fossile (charbon , petrole , gaz naturel) a partir de centrales thermiques .

L'utilisation de ces sources d'énergie menace l'équilibre écologique de la terre car des études ont montré que si on dessalait 10 millions de m^3/J jusqu'à l'an 2000, il y aura production de 20 millions de tonnes/an de CO_2 , 20000 tonnes/an de SO_2 et 60000 tonnes/an de NO_x .

Il existe une autre source d'énergie meilleure, moins polluante et moins chère que les combustibles fossiles, c'est l'énergie nucléaire.

L'énergie issue du combustible fissile sera échangée avec l'unité de dessalement suivant le même procédé des centrales thermiques.

L'objectif de cette étude est de concevoir un réacteur nucléaire d'une puissance de 200 Mwth utilisant un combustible enrichi en uranium 235, le réacteur est couplé avec 5 unités de dessalement produisant chacune 10000 m^3/j suivant un procédé de distillation.

L'étude se compose de 4 parties :

I- étude du dessalement : son but est de déterminer l'apport énergétique pour l'ensemble des unités

II-étude neutronique : cette étude consiste à déterminer la taille du cœur du réacteur, ainsi que son tonnage en combustible

III-étude thermohydraulique : elle consiste en la détermination de la température dans chaque zone du cœur (combustible, gaine et fluide caloporteur) afin de s'assurer que les températures atteintes lors du fonctionnement soient au-dessous des limites technologiques de chaque matériau.

IV-Etude du blindage : vu que le combustible est hautement radioactif (émission de neutrons et de rayons gamma), on envisage un blindage en béton précontraint (à base de fer) dont on doit déterminer l'épaisseur afin de réduire les fuites vers l'extérieur.

CHAPITRE I

ETUDE DU DESSALEMENT

Il ya actuellement , pour l'ensemble de la planete , suffisamment d'eau pour répondre a tous les besoins .Toutefois , cette eau n'est pas répartie de facon equitable dans chaque région , et certaines regions sont affectées de penuries chroniques (desert) , alors que d'autres affichent des surplus .

I-1-DISTRIBUTION ET CLASSIFICATION DES EAUX

Les eaux sont réparties sur le globe de la facon suivante :

Provenance de l'eau	Quantite (%)
Eau douce de lacs	0,009
Eau de rivières	0,0001
eau souterraine (près de la surface)	0,005
eau souterraine (en profondeur)	0,61
Eau dans les glaciers et dans les calottes glaciaires	2,15
Eau salée de lacs ou de mers intérieures	0,008
Eau dans l'atmosphère	0,0001
Eau des océans	97,2 0

On constate rapidement que 99,3 % d'eau sur la terre est soit trop salée (océans) , soit répartie dans des regions inaccessibles (calottes glaciaires) . De plus , le reste d'eau est reparti inégalement sur le globe .

On peut alors songer a d'autres solutions , telles , le recyclage et le traitement des eaux usées , eau saumâtre (eau de mer) , qui , comparativement aux sources actuelles d'eau douce sont disponible en quantité intarissable et moins polluée.

Cependant quelques mesures de protection écologique doivent être prise en consideration, afin de ne pas accroître le problème de pollution que connaît la terre (effet de serre , pluies acides, . . .), ce qui signifie que toute nouvelle production d'énergie doit se faire avec un minimum d'émission de CO_2 ou de SO_2 .

Jusqu'à présent , la seule source d'énergie sur laquelle repose l'économie mondiale est le pétrole (ou plus généralement les combustibles fossiles) , cependant son utilisation doit être rationalisée compte tenu de sa courte durée de vie et de son utilisation a d'autres fin industrielle , telle l'industrie pétrochimique.

En considerant tous ces facteurs , on serait amené a chercher une source d'énergie qui se substituera

au pétrole, la seule source d'énergie non fossile qui soit industriellement assez développée et dont le coût est actuellement très compétitif est l'énergie nucléaire.

On classe les eaux en fonction des quantités de matières dissoutes qu'elles contiennent, On obtient donc les données suivantes :

Type d'eau	Salinité (mg/L)
Eau douce	<5000
Eau légèrement saumâtre	1000 -5000
Eau modérément saumâtre	5000 -15000
Eau très saumâtre	15000 -35000
Eau de mer	35000 -42000

I-2- METHODE DE DESSALEMENT DES EAUX DE MER :

On peut classer les méthodes de dessalement des eaux de mer en fonction des procédés utilisés pour le faire, soit :

- *Les procédés qui font intervenir les changements de phase (distillation et congélation)
- *Procédés qui utilisent des membranes (électrodialyse et osmose inverse)
- *Les procédés qui agissent sur les liaisons chimiques (échange d'ions et extraction par solvant sélectif) .

Nous nous intéressons ici qu'au dessalement par distillation, congélation, électrodialyse et osmose inverse.

I-3- PRESENTATION DES DIFFERENTS PROCEDES DE DESSALEMENT :

I-3-1-LE MULTIFLASH (MSF) : [FIG 1, annexe 1]

Ce procédé consiste à chauffer l'eau de mer jusqu'à une température maximale de 90 à 130 °C, cette eau passera par une suite d'enceintes (cellules) isolées thermiquement les unes des autres, dans lesquelles règne un vide partiel (pression décroissante d'une cellule à une autre)

La température d'entrée de l'eau salée dans chaque enceinte est légèrement supérieure à la température de saturation correspondante à la pression régnant dans cette chambre, ce qui a pour effet l'évaporation d'une partie de l'eau salée, la vapeur ainsi produite dans chaque étage est condensée par l'eau salée d'alimentation.

Actuellement, les installations utilisant le MSF travaillent suivant deux variantes :

I-3-1-1-MSF avec recyclage :

Dans cette variante , une partie de l'eau de refroidissement est reutilisée comme eau d'alimentation après avoir été dégazifiée , et , pour éviter les dépôts de tartre , on utilise un acide .

La quantité d'eau de mer nécessaire à la production d'une certaine quantité d'eau douce est recyclée , et tenue au dessous d'un seuil maximal de salinité par un apport continu d'eau d'alimentation . Ce dispositif MSF nécessite une pompe de recyclage de la saumure , qui constitue l'élément le plus sensible dans une installation de dessalement .

I-3-1-2-MSF sans recyclage:

Dans cette variante , toute l'eau de refroidissement est dégazifiée dans le premier étage , on lui ajoute certains produits additifs (comme traitement) avant d'entrer dans l'installation . L'avantage de cette installation est qu'elle ne nécessite pas une pompe de recyclage de saumure.

Toutes les installations utilisant le MSF nécessitent le traitement d'eau de mer pour éviter le dépôt de tartre .

I-3-2- DISTILLATION A EFFET MULTIPLE (MED) : [FIG 2 et 3 , annexe 1]

La distillation à effet multiple est la plus ancienne des méthodes d'évaporation . Actuellement , avec la mise sur le marché de composants très adaptés au MED , cette méthode commence à prendre un grand essor , notamment en combinaison avec la compression de vapeur .

Dans le système MED , deux dispositions sont utilisées :

I-3-2-1-Distillation à effet multiple avec évaporateur à tubes horizontaux (HTME) :

cette disposition est considérée comme étant la plus prometteuse pour la production d'eau fraîche dans l'avenir , elle est schématisée sur la figure 4 de l'annexe 1.

L'eau salée est injectée sur la surface extérieure des tubes horizontaux et forme un film mince de liquide , on fait circuler ensuite de la vapeur chaude à l'intérieur des tubes , ce qui conduit à la condensation de la vapeur de chauffage et à l'évaporation de la couche mince d'eau de mer , la vapeur ainsi produite est séparée des gouttelettes d'eau salée à l'aide d'un dispositif de séparation et est dirigée vers les étages inférieurs de l'installation .

Les dispositifs HTME sont très sensibles à la quantité d'eau de mer utilisée et demandent un bon alignement des tubes horizontaux .

Afin éviter qu'il y'ait des endroits sec sur les tubes , on doit utiliser une grande quantité d'eau d'alimentation qui sera répartie sur les tubes par un dispositif de distribution .

Un autre avantage important du HTME est que la qualité d'eau produite reste très bonne , même s'il se crée sur la surface d'échange de chaleur de petits trous sous l'effet de la corrosion , compte tenu que la pression à l'intérieur des tubes est plus élevée que celle du film mince .

I-3-2-2- Distillation à effet multiple avec évaporateur à tubes verticaux (VTE) :

Ce dispositif est réalisé en faisant intervenir plusieurs types d'évaporateurs qu'on pourra classer selon plusieurs paramètres (sens du mouvement de l'eau d'alimentation , circulation naturelle ou forcée , ...) .

On utilise généralement des évaporateurs qui ont plusieurs étages en série suivant le sens de circulation de la vapeur de chauffage , tels :

a- Évaporateur à chute d'eau : [FIG 5 d et 6 a , annexe 1]

À l'entrée supérieure des tubes , on installe des distributeurs qui ont pour rôle de répartir l'eau salée uniformément à l'intérieur des tubes sous forme de film mince de liquide , la vapeur de chauffage étant admise dans l'espace entre tubes , elle se condense au contact des surfaces extérieures de ceux-ci , ce qui a pour effet l'évaporation d'une partie de l'eau salée qui coule à l'intérieur des tubes .

Les gouttelettes d'eau salée et la vapeur qui s'est produite passent par une chambre de séparation , où chaque phase sera séparée de l'autre .

Une partie de la vapeur produite sera utilisée comme vapeur de chauffage dans l'étage suivant , alors que l'autre partie servira au préchauffage de l'eau de mer entrant l'installation .

La saumure recueillie dans la chambre de séparation sera pompée vers les distributeurs du prochain étage .

b- Évaporateur à mouvement ascensionnel d'eau : [FIG 6 b , annexe 1]

La vapeur de chauffage est admise dans l'espace entre tubes et l'eau de mer coule à l'intérieur de ceux-ci (de bas en haut) , La condensation de la vapeur de chauffage se produit à l'extérieur des tubes alors que l'évaporation de l'eau salée a l'intérieur de ceux-ci , le mélange de vapeur et d'eau qui se crée à l'intérieur des tubes sera dirigé vers le dispositif de séparation , où les deux phases seront séparées .

c- Evaporateur avec circulation naturelle : [FIG 7, annexe 1]

Il est formé par une chambre de chauffage verticale contenant les tubes et d'une chambre de séparation placée juste au dessus de la sortie des tubes ,Il diffère de l'évaporateur a mouvement ascensionnel d'eau par le fait que la partie basse de la chambre de séparation est reliee par une conduite a la partie basse de l'étage .

d-Evaporateur avec circulation forcée : [FIG 8, annexe 1]

Il s'agit de la meme installation que precedement , sauf que pour celle la on fait intervenir une pompe de construction spéciale qui donne au fluide son mouvement dans l'installation .

Le rendement et le temps entre deux nettoyages pour les évaporateurs type tubes verticaux a chute d'eau operant a hautes température [90 -130 °C] depend énormément de l'uniformite de la répartition de l'eau a l'intérieur des tubes , c'est ainsi qu'un choix judicieux des distributeurs doit etre fait .

I-3-3-OSMOSE INVERSE (RO) : [FIG 9 , annexe 1]

L'osmose inverse est un procédé naturel dans lequel de l'eau pure (ou en solution diluée) traverse une membrane semi-permeable vers une solution plus concentrée , ce procédé s'arrete quand les pressions osmotiques sont égales des deux cotés de la membrane .

La membrane tolère le passage du solvant mais pas du soluté . Si nous appliquons à une solution contenue dans une enceinte fermée une pression plus élevée que la pression osmotique, le sens de l'écoulement de l'eau douce est inversé , entraînant une augmentation de la concentration de la solution , et l'eau douce sera obtenue de l'autre cote de la membrane , d'ou le terme osmose inverse

La qualite d'eau obtenue depend de sa concentration en sel, de son PH, de sa température ainsi que de la composition chimique de la membrane et de son épaisseur .

Il faut toutefois noter que les modules d'osmose inverse ont des limitations physique et économique, car ils operent a des pressions variant de 55 a 70 bars .

Une installation d'osmose inverse comporte une section de pretraitement , une section contenant une pompe de haute pression , une membrane et une section de post-traitement .

I-4-AUTRES PROCEDES :

I-4-1- congelation :

Quand l'eau salée est congelée , la glace qui se forme ne contiendra pas de sel . La congelation

permet de récupérer 30 a 50 % d'eau douce de la solution salée , il se forme alors deux phases (liquide - glace) , ce qui simplifie la séparation mécanique de la glace (théoriquement elle ne contient pas de sel) , et en faisant fondre cette glace , on obtient de l'eau douce .

La glace obtenue est souvent soumise a une étape de nettoyage par lavage ou par centrifugation , l'avantage de ce procédé est qu'il nécessite huit fois moins d'énergie que le procédé d'évaporation .

I-4-2- Distillation par effet solaire :[FIG 10, annexe 1]

les rayons solaires sont directement utilisés pour évaporer de l'eau a partir d'eau salée , la vapeur ainsi produite est condensée sur des vitres inclinées (ou des murs en plastique transparent) qui sont refroidies par l'air ambiant .

I-4-3- électrodialyse (ED) :[FIG 11, annexe 1]

Ce fut le premier procédé a membrane utilisé pour le dessalement d'eau de mer , de nos jours , il est surtout utilisé pour les eaux saumâtres (eaux des nappes souterraines) .Il convient surtout pour les eaux contenant beaucoup de substances dissoutes , ou beaucoup d'éléments susceptibles de provoquer les dépôts de tartre , comme la saumure provenant d'une installation d'osmose inverse .

I-5- ETUDE DE L'INSTALLATION DE DESSALEMENT(FIGI-1) :

Ayant défini sommairement les différents procédés de dessalement , on s'intéressera maintenant a une installation de 5 unités produisant chacune 10000 m³/J , chaque unité étant constituée de 10 étages(la figure 1 représente le schéma synoptique de l'unité de dessalement) .

L'eau d'alimentation est chauffée dans les condenseurs de l'unité avant d'être dirigée sur le réchauffeur principal ou il y'aura un apport de chaleur par la vapeur d'alimentation , a sa sortie du réchauffeur , la température de l'eau d'alimentation sera de 130 °C .

La différence de température entre deux évaporateurs successifs est de 9 °C , ceci est obtenu en agissant sur les pressions qui regnent a l'intérieur de ces évaporateurs .

A la sortie du dernier évaporateur , la saumure est dirigée sur un récupérateur avant d'être rejetée a une température de 34 °C .

Comme on connaît la température de la vapeur dans chaque étage , on peut donc définir ses paramètres :

$T_{10} = 40 \text{ °C}$	$P_{10} = 7,384 \text{ KPa}$	$v_{10} = 19,52 \text{ m}^3/\text{kg}$	$h_{10g} = 2574,3 \text{ kJ/kg}$
$T_9 = 49 \text{ °C}$	$P_9 = 12,349 \text{ KPa}$	$v_9 = 12,03 \text{ m}^3/\text{kg}$	$h_{9g} = 2592,1 \text{ kJ/kg}$

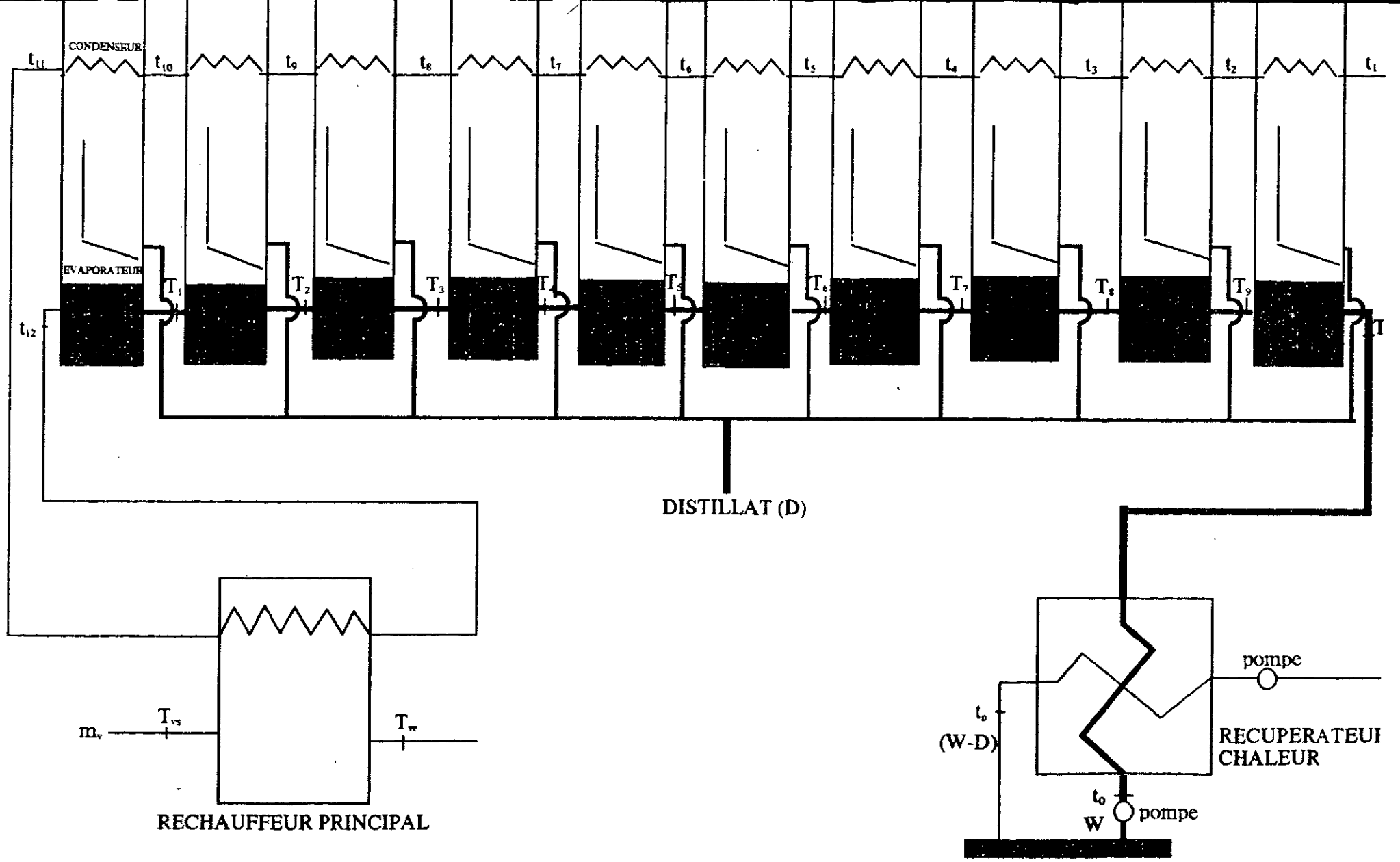


FIGURE 1 : SCHEMA DE L'UNITE DE DESSALEMENT

$T_8 = 58\text{ }^\circ\text{C}$	$P_8 = 19,940\text{ KPa}$	$v_8 = 7,671\text{ m}^3/\text{kg}$	$h_{8g} = 2609,6\text{ kJ/kg}$
$T_7 = 67\text{ }^\circ\text{C}$	$P_7 = 31,19\text{ KPa}$	$v_7 = 6,197\text{ m}^3/\text{kg}$	$h_{7g} = 2618,3\text{ kJ/kg}$
$T_6 = 76\text{ }^\circ\text{C}$	$P_6 = 38,58\text{ KPa}$	$v_6 = 4,131\text{ m}^3/\text{kg}$	$h_{6g} = 2635,3\text{ kJ/kg}$
$T_5 = 85\text{ }^\circ\text{C}$	$P_5 = 57,83\text{ KPa}$	$v_5 = 2,828\text{ m}^3/\text{kg}$	$h_{5g} = 2651,9\text{ kJ/kg}$
$T_4 = 94\text{ }^\circ\text{C}$	$P_4 = 84,55\text{ KPa}$	$v_4 = 1,982\text{ m}^3/\text{kg}$	$h_{4g} = 2668,1\text{ kJ/kg}$
$T_3 = 103\text{ }^\circ\text{C}$	$P_3 = 0,12082\text{ MPa}$	$v_3 = 1,4149\text{ m}^3/\text{kg}$	$h_{3g} = 2683,8\text{ kJ/kg}$
$T_2 = 112\text{ }^\circ\text{C}$	$P_2 = 0,14327\text{ MPa}$	$v_2 = 1,2102\text{ m}^3/\text{kg}$	$h_{2g} = 2691,3\text{ kJ/kg}$
$T_1 = 121\text{ }^\circ\text{C}$	$P_1 = 0,19853\text{ MPa}$	$v_1 = 0,8919\text{ m}^3/\text{kg}$	$h_{1g} = 2706,3\text{ kJ/kg}$
$t_{12} = 130\text{ }^\circ\text{C}$			

I-5-1-CALCUL DU DEBIT D'EAU D'ALIMENTATION :

Pour déterminer le débit d'eau d'alimentation pénétrant la chambre d'évaporation du 1^{er} étage , il est nécessaire au préalable de préciser la capacité de l'évaporateur au niveau de chaque étage , ce qui se fait par le calcul des débits de production spécifiques de chaque étage rapportés à 1 kg d'eau d'alimentation injectée dans le premier étage .

On appliquera le premier principe de la thermodynamique à chaque évaporateur en faisant les hypothèses suivantes :

- Le débit d'eau qui sort d'un évaporateur est égal au débit entrant car la partie d'eau qui s'évapore est très petite .
- On considérera que la chaleur spécifique est constante car la chute de température entre deux évaporateurs est très petite .

- 1^{er} évaporateur :

$$w.C_p.t_{12} = m_1.h_{1g} + (w - m_1).C_p.T_1$$

w : débit d'eau d'alimentation

C_p : chaleur spécifique de l'eau d'alimentation

m_1 : débit de vapeur produite dans le 1^{er} étage

En considérant la première hypothèse faite ci-dessus, on trouve

$$x_1 = m_1/w = C_p.(t_{12} - T_1)/h_{1g}$$

$$C_p = 1,875\text{ kJ/kg.K}$$

$$x_1 = 0,00624$$

- 2^{ème} évaporateur :

$$(w - m_1).C_p.(T_1 - T_2) = m_2.h_{2g} + (w - m_1 - m_2).C_p.T_2$$

$$x_2 = m_2/w = C_p.(1 - x_1).(T_1 - T_2)/h_{2g}$$

$$x_2 = 0,00623$$

- 3^{ème} évaporateur :

$$(w - m_1 - m_2).C_p.T_2 = m_3.h_{3g} + (w - m_1 - m_2 - m_3).C_p.T_3$$

$$x_3 = m_3/w = C_p.[1 - (x_1 + x_2)].(T_2 - T_3)/h_{3g}$$

$$x_3 = 0,00621$$

En suivant le meme raisonnement pour les autres évaporateurs , on trouve :

- 4^{ème} évaporateur :

$$x_4 = m_4/w = C_p.[1 - (x_1 + x_2 + x_3)].(T_3 - T_4)/h_{4g}$$

$$x_4 = 0,00621$$

- 5^{ème} évaporateur :

$$x_5 = m_5/w = C_p.[1 - (x_1 + x_2 + x_3 + x_4)].(T_4 - T_5)/h_{5g}$$

$$x_5 = 0,00620$$

- 6^{ème} évaporateur :

$$x_6 = m_6/w = C_p.[1 - (x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5)].(T_5 - T_6)/h_{6g}$$

$$x_6 = 0,00620$$

- 7^{ème} évaporateur :

$$x_7 = m_7/w = C_p.[1 - (x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6)].(T_6 - T_7)/h_{7g}$$

$$x_7 = 0,00620$$

- 8^{ème} évaporateur :

$$x_8 = m_8/w = C_p.[1 - (x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7)].(T_7 - T_8)/h_{8g}$$

$$x_8 = 0,00619$$

- 9^{ème} évaporateur :

$$x_9 = m_9/w = C_p.[1 - (x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8)].(T_8 - T_9)/h_{9g}$$

$$x_9 = 0,00619$$

- 10^{ème} évaporateur :

$$x_{10} = m_{10}/w = C_p.[1 - (x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9)].(T_9 - T_{10})/h_{10g}$$

$$x_{10} = 0,00619$$

La capacité totale de production de vapeur sera donc :

$$X = \frac{D [\text{débit de distillat}]}{w [\text{débit d'eau d'alimentation}]} = \sum x_i = 0,06206$$

L'unité sur laquelle porte notre étude a une capacité de production de distillat de :

$$D = 10000 \text{ m}^3/\text{j} = 416,67 \text{ tonnes/h}$$

Le débit d'eau d'alimentation sera donc :

$$w = D/X = 6713,99 \text{ tonnes/h}$$

I-5-2-DEBIT SPECIFIQUE DE SAUMURE :

$$U = (w - D)/w = 0,938$$

REMARQUE : Nous pouvons aisément constater que la quantité d'eau qui s'est évaporé est inférieure au dixième de l'eau d'alimentation, ce qui signifie que l'hypothèse stipulant que le débit sortant d'un évaporateur soit égal au débit entrant est bien justifiée.

I-5-3-TEMPERATURE DE L'EAU D'ALIMENTATION A L'ENTREE DU CONDENSEUR DU 10^{ème} ETAGE :

La prise d'eau de mer se fait a une température $t_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ alors que le rejet de la saumure se fait a $t_p = 34 \text{ }^\circ\text{C}$. Appliquons le premier principe de la thermodynamique au récupérateur de chaleur :

$$w.(t_1 - t_0) = (w - D).(T_{10} - t_p)$$

Vu que ne nous disposons pas de tables donnant la variation de la chaleur spécifique avec la salinité de l'eau, on a supposé qu'elle est constante, cette hypothèse est d'autant plus justifiée car la salinité de l'eau n'a réellement pas trop changé du moment que la quantité qui s'est évaporé est trop petite.

$$t_1 = t_0 + [(w - D)/w].(T_{10} - t_p)$$

$$t_1 = 25,63 \text{ }^\circ\text{C}$$

t_1 étant maintenant connue, il est donc possible de déterminer les températures a la sortie de chaque condenseur en lui appliquant le premier principe de la thermodynamique :

- 1^{er} condenseur :

$$w.(t_2 - t_1) = m_9.T_9 - m_{10}.T_{10}$$

$$t_2 = t_1 + x_9.T_9 - x_{10}.T_{10}$$

En faisant de même pour les autres condenseurs, on trouve :

$$- 2^{ème} condenseur : $w.(t_3 - t_2) = m_8.T_8 - m_9.T_9$$$

$$t_3 = t_2 + x_8.T_8 - x_9.T_9$$

$$- 3^{\text{eme}} \text{ condenseur : } w.(t_4 - t_3) = m_7.T_7 - m_8.T_8$$

$$t_4 = t_3 + x_7.T_7 - x_8.T_8$$

$$- 4^{\text{eme}} \text{ condenseur : } w.(t_5 - t_4) = m_6.T_6 - m_7.T_7$$

$$t_5 = t_4 + x_6.T_6 - x_7.T_7$$

$$- 5^{\text{eme}} \text{ condenseur : } w.(t_6 - t_5) = m_5.T_5 - m_6.T_6$$

$$t_6 = t_5 + x_5.T_5 - x_6.T_6$$

$$- 6^{\text{eme}} \text{ condenseur : } w.(t_7 - t_6) = m_4.T_4 - m_5.T_5$$

$$t_7 = t_6 + x_4.T_4 - x_5.T_5$$

$$- 7^{\text{eme}} \text{ condenseur : } w.(t_8 - t_7) = m_3.T_3 - m_4.T_4$$

$$t_8 = t_7 + x_3.T_3 - x_4.T_4$$

$$- 8^{\text{eme}} \text{ condenseur : } w.(t_9 - t_8) = m_2.T_2 - m_3.T_3$$

$$t_9 = t_8 + x_2.T_2 - x_3.T_3$$

$$- 9^{\text{eme}} \text{ condenseur : } w.(t_{10} - t_9) = m_1.T_1 - m_2.T_2$$

$$t_{10} = x_1.T_1 - x_2.T_2$$

De plus nous avons $t_{11} - t_{12} = T_{10}$

Nous obtenons donc les resultats suivants :

$$t_2 = 34,37 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \& \quad t_3 = 43,23 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \& \quad t_4 = 52,20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_5 = 61,28 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \& \quad t_6 = 70,47 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \& \quad t_7 = 79,77 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_8 = 89,19 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \& \quad t_9 = 98,72 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \& \quad t_{10} = 108,36 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{11} = 118 \text{ } ^\circ\text{C}$$

I-5-4-CALCUL DU DEBIT DE VAPEUR DANS LE RECHAUFFEUR PRINCIPAL :

La température de la vapeur d'alimentation a l'entrée du réchauffeur principal est fixée a $170 \text{ } ^\circ\text{C}$.

La température de sortie de la vapeur est : $T_w = t_{12} + (15 \text{ a } 20 \text{ } ^\circ\text{C}) = 145 \text{ } ^\circ\text{C}$

Le premier principe de la thermodynamique applique au réchauffeur principal donne :

$$\varphi.w.(t_{12} - t_{11}) = m_{GV}.(T_w - t_w)$$

φ : coefficient tenant compte des pertes de chaleur dans l'environnement ($\varphi = 1,02 \text{ a } 1,03$)

m_{GV} : debit de vapeur dans le réchauffeur principal .

$$m_{GV} = \frac{\varphi.w.(t_{12} - t_{11})}{(T_w - T_w)}$$

Soit $\varphi = 1,02$

$$m_{gv} = 3287,17 \text{ tonnes/h}$$

I-5-5-CALCUL DES CAPACITES REELLES DE PRODUCTION DE CHAQUE ETAGE :

Chaque etage " i " produira un débit de distillat egal a D_i qui correspond a un volume de vapeur $V_i = D_i \cdot v_i$

$$D_i = x_i \cdot w$$

$$V_i = x_i \cdot w \cdot v_i$$

$$D_1 = 41,90 \text{ t/h}$$

$$V_1 = 37379,53 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$D_2 = 41,83 \text{ t/h}$$

$$V_2 = 50622,67 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$D_3 = 41,69 \text{ t/h}$$

$$V_3 = 59174,79 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$D_4 = 41,69 \text{ t/h}$$

$$V_4 = 82629,58 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$D_5 = 41,63 \text{ t/h}$$

$$V_5 = 117729,64 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$D_6 = 41,63 \text{ t/h}$$

$$V_6 = 171973,53 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$D_7 = 41,63 \text{ t/h}$$

$$V_7 = 257981,11 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$D_8 = 41,56 \text{ t/h}$$

$$V_8 = 318806,76 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$D_9 = 41,56 \text{ t/h}$$

$$V_9 = 499966,80 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$D_{10} = 41,56 \text{ t/h}$$

$$V_{10} = 811251,20 \text{ m}^3/\text{h}$$

Trouvons maintenant les volumes approximatifs de l'espace vapeur pour chacun des étages en considérant la charge specifique de cet espace egal e a :

$$V_{s.e.v} = 20000 \text{ (m}^3/\text{h)/m}^3$$

$$V_{i.ev} = V_i / V_{s.e.v}$$

$V_{i.ev}$: volume approximatif de l'espace vapeur .

$$V_{1.ev} = 1,87 \text{ m}^3$$

$$V_{2.ev} = 2,53 \text{ m}^3$$

$$V_{3.ev} = 2,96 \text{ m}^3$$

$$V_{4.ev} = 4,13 \text{ m}^3$$

$$V_{5.ev} = 5,89 \text{ m}^3$$

$$V_{6.ev} = 8,60 \text{ m}^3$$

$$V_{7.ev} = 12,90 \text{ m}^3$$

$$V_{8.ev} = 15,94 \text{ m}^3$$

$$V_{9.ev} = 25 \text{ m}^3$$

$$V_{10.ev} = 40,56 \text{ m}^3$$

I-5-6-CALCUL DES SECTIONS DE PASSAGE DE L'EAU D'ALIMENTATION :

Le débit d'eau d'alimentation entre deux évaporateurs est donné par :

$$Q_i = 3600 \cdot \mu \cdot A_i \cdot v_i$$

μ : coefficient de débit ($\mu = 0,8$)

$$v_i = (2 \cdot g \cdot \Delta H_i)^{1/2} \text{ avec } \Delta H_i = \Delta P / \rho$$

ΔP : chute de pression entre deux évaporateurs

En réarrangeant , on aboutit a :

$$A_i [\text{m}^2] = Q_i / [128,80 \cdot (\Delta P)^{1/2}]$$

$$A_{i,j} = [Q_i - (D_1 + D_2 + \dots + D_{i-1})] / [128,80 \cdot (P_i - P_j)^{1/2}] \text{ \& } j > i$$

$$A_{1,2} = 0,22 \text{ m}^2 \quad \& \quad \phi_{1,2} = 0,53 \text{ m}$$

$$A_{2,3} = 0,53 \text{ m}^2 \quad \& \quad \phi_{2,3} = 0,66 \text{ m}$$

$$A_{3,4} = 0,27 \text{ m}^2 \quad \& \quad \phi_{3,4} = 0,59 \text{ m}$$

$$A_{4,5} = 0,31 \text{ m}^2 \quad \& \quad \phi_{4,5} = 0,63 \text{ m}$$

$$A_{5,6} = 0,37 \text{ m}^2 \quad \& \quad \phi_{5,6} = 0,68 \text{ m}$$

$$A_{6,7} = 0,59 \text{ m}^2 \quad \& \quad \phi_{6,7} = 0,87 \text{ m}$$

$$A_{7,8} = 0,48 \text{ m}^2 \quad \& \quad \phi_{7,8} = 0,78 \text{ m}$$

$$A_{8,9} = 0,57 \text{ m}^2 \quad \& \quad \phi_{8,9} = 0,86 \text{ m}$$

$$A_{9,10} = 0,71 \text{ m}^2 \quad \& \quad \phi_{9,10} = 0,95 \text{ m}$$

I-5-7-CALCUL DES SECTIONS DE PASSAGE DU DISTILLAT D'UN ETAGE VERS

L'AUTRE :

Ces sections sont données par le meme formalisme que celui du paragraphe précédent :

$$A'_{i,j} = D_j / [128,80 \cdot (\Delta P)^{1/2}]$$

$$A'_{1,2} = 1,38 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \quad \& \quad \phi'_{1,2} = 4,20 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$A'_{2,3} = 4,34 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \quad \& \quad \phi'_{2,3} = 7,43 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$A'_{3,4} = 5,11 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \quad \& \quad \phi'_{3,4} = 8,1 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$A'_{4,5} = 7,94 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \quad \& \quad \phi'_{4,5} = 0,10 \text{ m}$$

$$A'_{5,6} = 1,17 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \quad \& \quad \phi'_{5,6} = 0,12 \text{ m}$$

$$A'_{6,7} = 2,26 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \quad \& \quad \phi'_{6,7} = 0,17 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} A'_{7,8} &= 2,14.10^2 \text{ m}^2 & \& & \phi'_{7,8} &= 0,16 \text{ m} \\ A'_{8,9} &= 2,97.10^2 \text{ m}^2 & \& & \phi'_{8,9} &= 0,19 \text{ m} \\ A'_{9,10} &= 4,13.10^2 \text{ m}^2 & \& & \phi'_{9,10} &= 0,23 \text{ m} \end{aligned}$$

I-5-8-CALCUL DE L'APPORT ENERGETIQUE NECESSAIRE AUX UNITES DE DESSALEMENT

$$Q_{vc} = m_{GV} \cdot C_p \cdot (T_{vs} - T_{ve})$$

m_{GV} : débit de vapeur dans le réchauffeur principal ($m_{GV} = 3287,17$ tonnes/h)

$$T_{ve} = 170 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{vs} = 145 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$C_p = 1,875 \text{ KJ/kg.K}$$

$$Q_{vc} = 42,8 \text{ Mw}$$

Chaque unité de dessalement délivrant $10000 \text{ m}^3/\text{j}$, donc il nous faudra 214 Mw pour dessaler $50000 \text{ m}^3/\text{j}$

Le réacteur qu'on va concevoir aura donc une puissance de 200 Mwth .

CHAPITRE II

ETUDE NEUTRONIQUE

II-SCHEMA DE PRINCIPE D'UN REACTEUR NUCLEAIRE [FIG 2]:

Un reacteur nucleaire est composé de :

- *Combustible (crayon)
- *Gaine métallique
- *Caloporteur

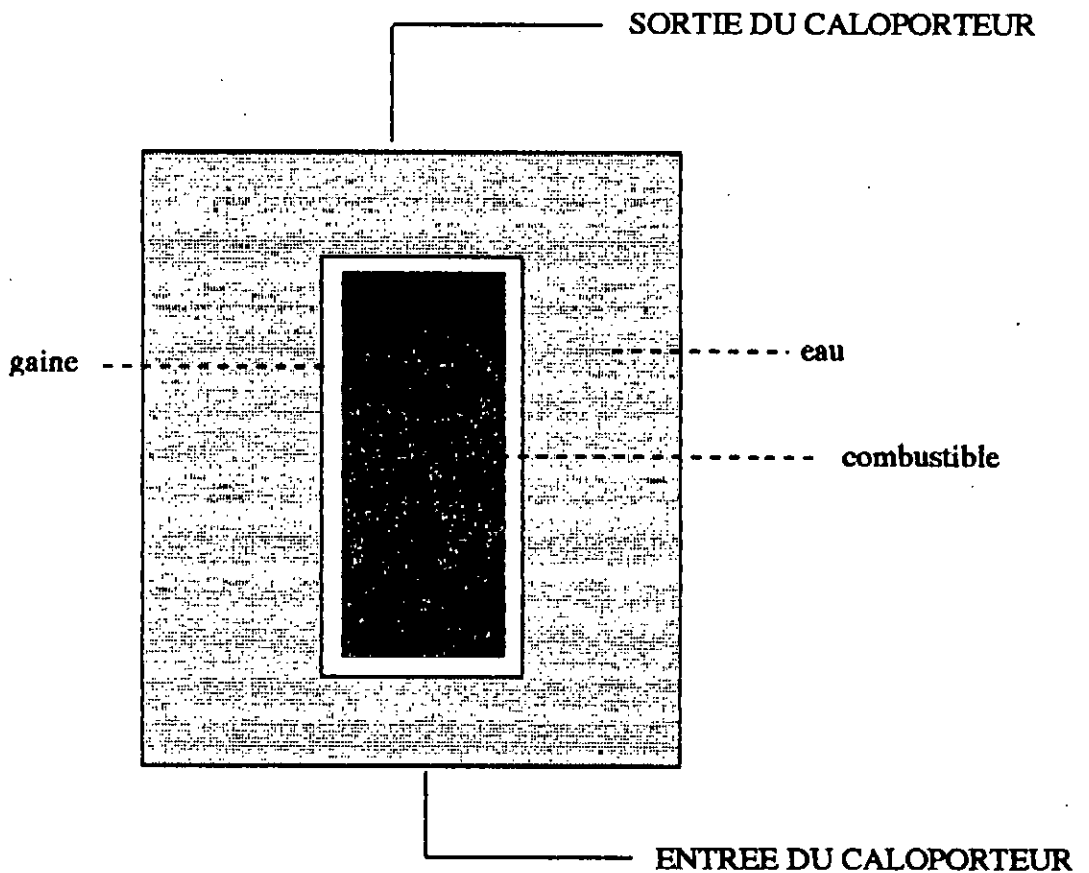


figure 2

Le combustible : il représente la matière fissile qui est la source d'énergie , pour notre cas l' UO_2 est adopté comme combustible .

La gaine métallique : son role est d'isoler le combustible du milieu environnant , ralentir les produits de fission , assurer la tenue mécanique du combustible , en particulier sa rigidite .

Le fluide caloporteur : il permet l'évacuation de la chaleur dégagée par les produits de fission et le refroidissement en permanence du combustible pour éviter sa fusion , il peut être soit de l'eau ordinaire , de l'eau lourde , un gaz ou un métal fondu .

Le fluide caloporteur joue également le rôle de modérateur dont la fonction est de réduire l'énergie des neutrons diffusant à l'énergie où se produit la fission .

II-1-LIAISON GAINÉ - COMBUSTIBLE :

Sous l'effet de la pression exercée par le caloporteur, la gaine se déforme par fluage, l'écart de température entre le combustible et la gaine s'accroît, ce qui conduit assez rapidement à la rupture de la gaine.

Pour éviter la détérioration de la gaine, on est amené à prévoir un espace libre entre le combustible et la gaine pour l'introduction d'un gaz inerte, l'hélium, pour assurer une bonne tenue mécanique de la gaine au fluage et au flambage.

L'ensemble constitué par le combustible, la gaine et l'hélium forme ce qu'on appelle un crayon combustible (voir figure 3)

Ce dernier est constitué par un empilement de pastilles d' UO_2 (oxyde d'uranium) enveloppées dans une gaine en ZIRCALLOY de 6/10 mm d'épaisseur, muni par deux bouchons soudés à chaque extrémité et assurent l'étanchéité de l'ensemble, le bouchon supérieur possède un quesot pour le remplissage de l'hélium sous pression [FIG 12 annexe 1].

La colonne de pastille d' UO_2 est maintenue par un ressort en INCONEL à la partie supérieure du crayon, pour des raisons de manutention.

Le cœur du réacteur est constitué d'un ensemble de batteries combustible appelées assemblages combustibles, chacun de ces assemblages est formé de n.n crayons [voir figure 12,annexe 1], l'ensemble est enveloppé dans une cuve en acier appelé cuve du réacteur [cf figure 13,annexe 1]

II-2-COUPLAGÉ DU RÉACTEUR AVEC L'UNITÉ DE DESSALEMENT :

Une enceinte de confinement en béton précontraint avec peau métallique interne contient la chaudière nucléaire (réacteur) [FIG 14, annexe 1], celle-ci est immergée dans un fluide réflécheur qui peut être soit de l'eau ordinaire, de l'eau lourde ou du graphite suivant le type du réacteur à concevoir.

La chaleur recue par le fluide caloporteur est transmise au circuit secondaire par le générateur de vapeur qui est couplé à l'unité de dessalement (voir figure 4).

II - 3 - RAPPELS DE NEUTRONIQUE :

II - 3 - 1-INTERACTIONS NEUTRONIQUES :

Le neutron étant électriquement neutre, il n'est soumis à aucune force provoquée par les particules chargées, ce qui fait qu'il peut traverser le nuage électronique d'un atome et réagir directement avec

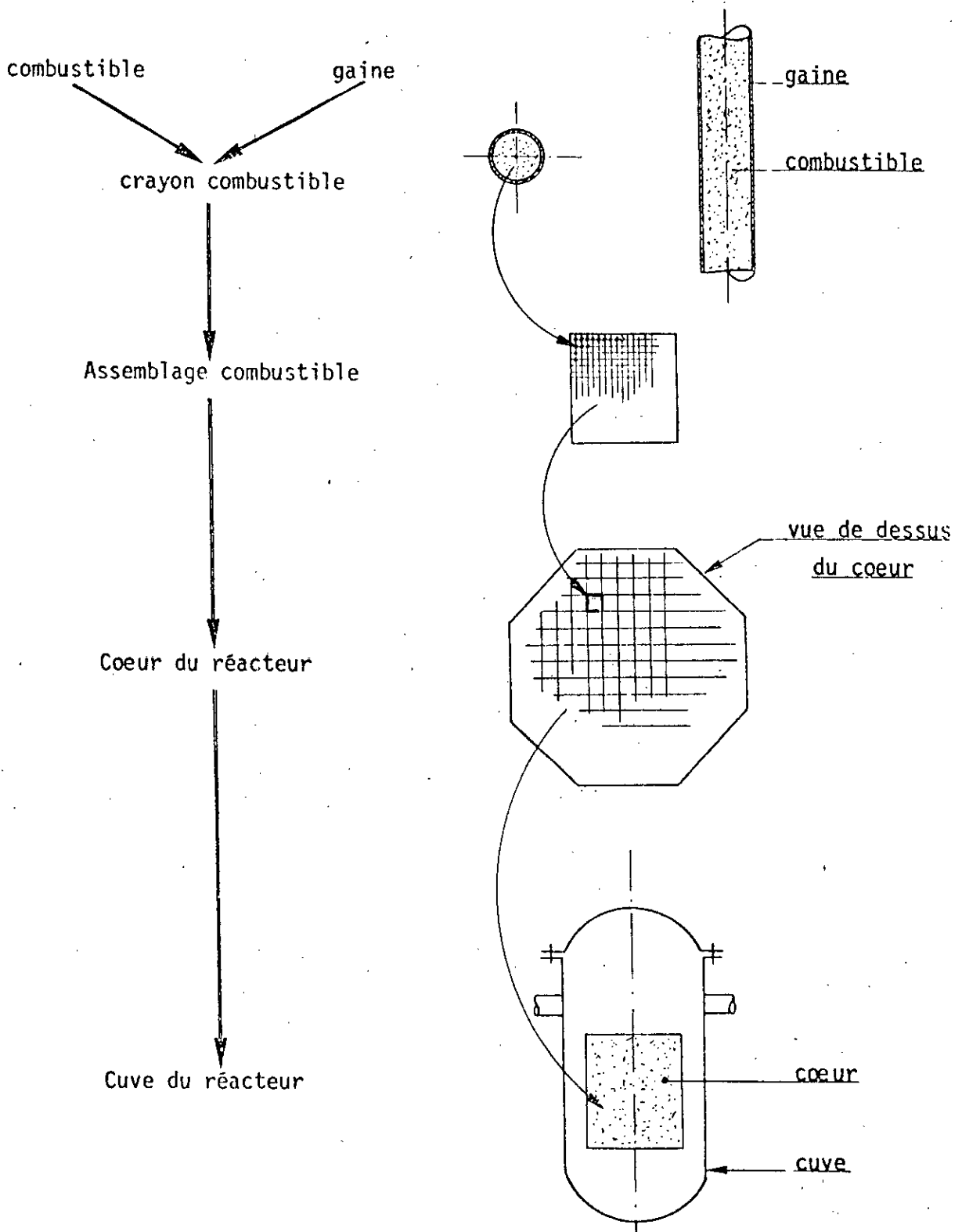


FIGURE 3: SITUATION DU CRAYON COMBUSTIBLE DANS L'ENSEMBLE DU REACTEUR

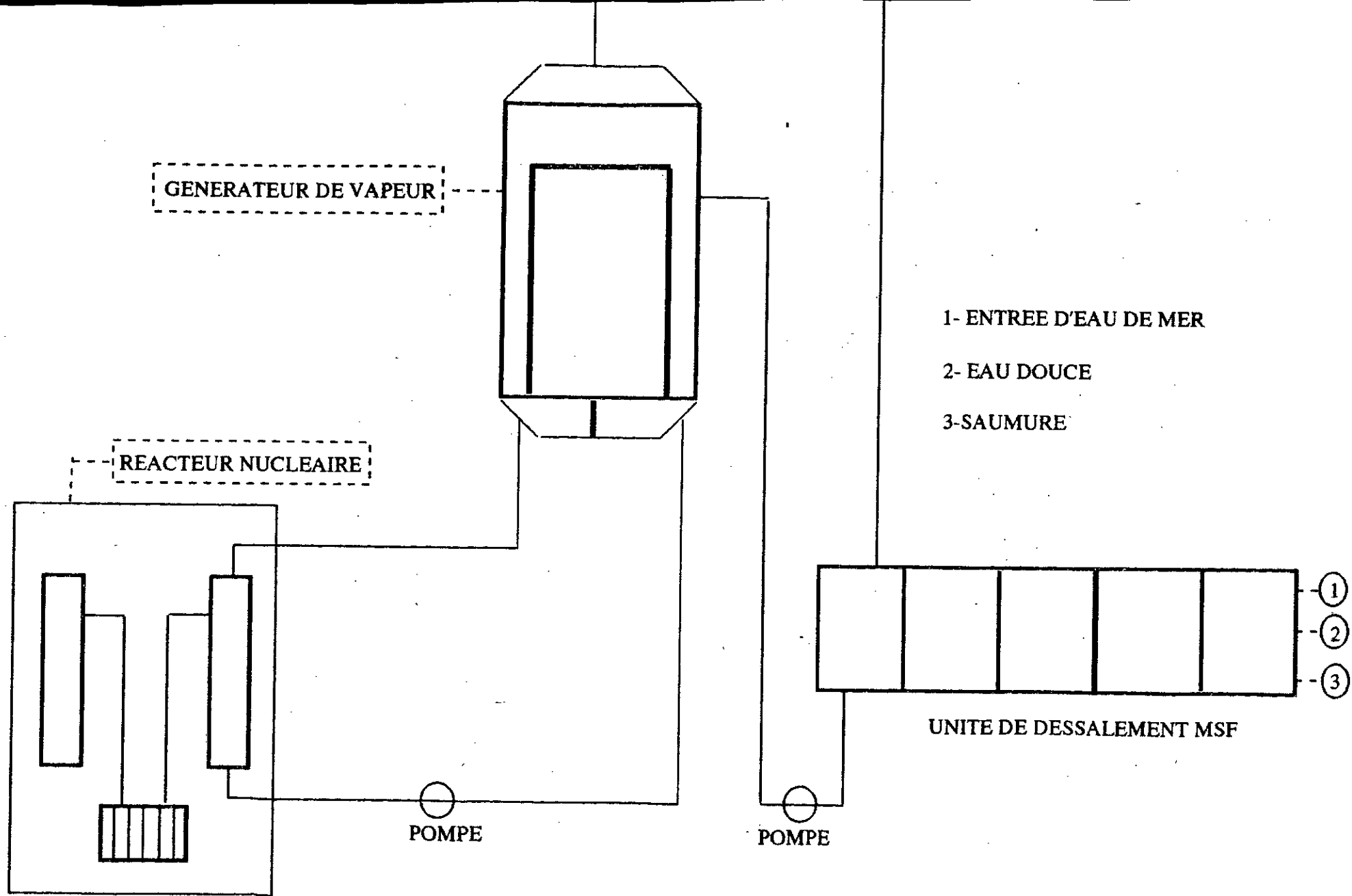


FIG 4 : UNITE DE DESSALEMENT MSF COUPLEE AVEC REACTEUR NUCLEAIRE

le noyau.

Parmi ces réactions nous pouvons citer :

II-3-1-1-LA DIFFUSION ELASTIQUE :

Dans cette réaction , le neutron entre en collision avec un noyau qui est dans son état fondamental , il réapparaît en laissant le noyau dans son état initial , dans cette réaction notée (n,n) , il y'a conservation d'énergie et de quantité de mouvement .

II-3-1-2 -LA DIFFUSION INELASTIQUE :

Cette réaction est la même que la précédente sauf que le noyau absorbe une partie de l'énergie du neutron incident et passe de son état fondamental à un état excité.

Dans cette réaction notée (n,n') , il y'a conservation d'énergie mais pas de quantité de mouvement .

II-3-1-3 -LA CAPTURE RADIATIVE :

Dans cette réaction (n,γ) , le neutron est capturé par un noyau qui émet des rayons γ . Cette réaction est l'exemple d'une très importante classe de réactions ; appelée "réaction d'absorption".

II-3-1-4 -REACTIONS PRODUCTRICES DE NEUTRONS :

Des neutrons énergétiques peuvent provoquer des réactions endothermiques du type $(n,2n)$ ou $(n,3n)$ causant , respectivement , l'éjection d'un et de deux neutrons par le noyau cible.

Ce type de réactions est utilisé comme source de neutrons pour la divergence des réacteurs .

II-3-1-5 -LA FISSION :

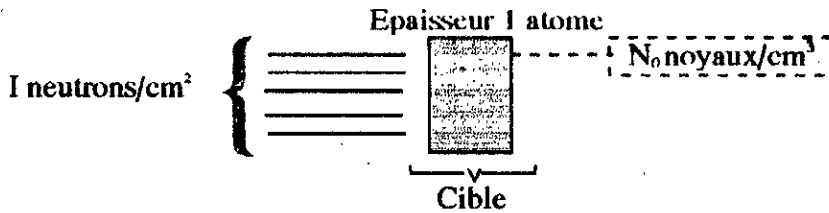
Les neutrons entrant en collision avec certains noyaux peuvent provoquer leur cassure , ce phénomène appelé fission est la principale source d'énergie nucléaire pour les applications pratiques L'étude quantitative des réactions précédentes nécessite l'introduction de certains paramètres que nous exposerons sommairement :

II-4- SECTIONS EFFICACES :

II-4-1-SECTIONS EFFICACES MICROSCOPIQUES :

Les phénomènes neutroniques sont décrits par les probabilités d'interactions des neutrons avec les différents noyaux et selon leur énergie .

Soit un faisceau de I neutrons monocinétiques par cm^2 frappant perpendiculairement une cible d'épaisseur un atome et contenant N_0 noyaux par cm^2 .



S'il se produit R réactions d'un certains type, on définira la section efficace microscopique du noyau considéré, pour la réaction considérée, et pour l'énergie incidente des neutrons considérée par

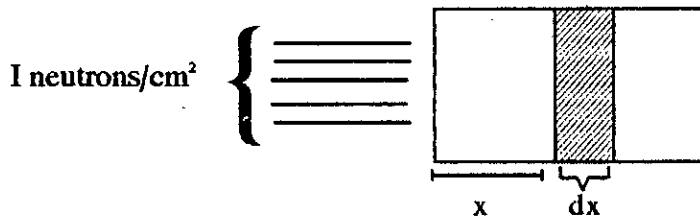
$$\sigma = R / (N_0 I)$$

σ représente la surface de choc associé a chaque noyau perpendiculairement a la direction des neutrons, son unite et le barn.

$$1 \text{ barns} = 10^{-24} \text{ cm}^2$$

II-4-2 -SECTIONS EFFICACES MACROSCOPIQUES

Reprenons l'expérience précédente avec une cible d'épaisseur finie contenant N atomes par cm³.



Soit $I(x)$ le nombre de neutrons ayant traversé sans interaction l'épaisseur x , dans la bande dx on va observer, d'après le résultat précédent, $I(x) \cdot N \cdot \sigma \cdot dx$ réactions donc :

$$-dI(x) = I(x) \cdot N \cdot \sigma \cdot dx$$

$$\text{d'ou: } I(x) = I \cdot \exp(-N \cdot \sigma \cdot dx)$$

La quantité $N \cdot \sigma$ est appelée section efficace macroscopique, elle est notée Σ .

$\Sigma = N \cdot \sigma$, elle s'exprime en cm⁻¹.

La section efficace d'absorption est définie comme étant la somme des sections efficaces de capture et de fission:

$$\sigma_a = \sigma_c + \sigma_f \text{ [absorption=capture+fission]}$$

La section efficace totale est la somme des sections efficaces d'absorption et de diffusion :

$$\sigma_t = \sigma_a + \sigma_s \text{ [totale= absorption+diffusion]}$$

Dans le cas d'un mélange de noyaux , la section efficace macroscopique pour un certains type de réaction est $\Sigma = N_1 \cdot \sigma_1 + N_2 \cdot \sigma_2 + \dots$

Aux basses énergies , les sections efficaces varient en $1/E^{1/2}$, donc en $1/V$ ($E^{1/2}$ étant proportionnelle a V) ; cependant , certains noyaux importants ne suivent pas rigoureusement la loi en $1/V$, ce sont les absorbeurs non- $1/V$.

Leurs sections efficaces sont définies par rapport a une énergie de referance , $E_0 = 0,0253$ ev , moyenant un facteur de correction dépendant de la température , appelé facteur de non $1/V$ et noté $g(T)$.

D'ou : $\Sigma_a(E) = g_a(T) \cdot \Sigma_a(E_0)$;

$$\Sigma_r(E) = g_r(T) \cdot \Sigma_r(E_0)$$

II-4-3 -LIBRES PARCOURS MOYENS :

D'apres la formule : $I(x) = I \cdot \exp(-N \cdot \sigma \cdot x) = I \cdot \exp(-\Sigma \cdot x)$, on deduit que $I(x)/I = \exp(-\Sigma \cdot x)$ est la probabilité pour que le neutron n'ait pas subi d'interactions avec le milieu apres l'avoir traverse sur une distance x .

La probabilité d'interaction pendant un parcours dx est $\Sigma \cdot dx$, donc la probabilité d'interaction entre x et $x+dx$ est : $\Sigma \cdot dx \cdot \exp(-\Sigma \cdot x)$, d'ou on deduit la distance moyenne parcourue avant interaction

$$\lambda = x \cdot \frac{\int_0^{\infty} x \cdot \Sigma \cdot \exp(-\Sigma \cdot x) \cdot dx}{\int_0^{\infty} \Sigma \cdot \exp(-\Sigma \cdot x) \cdot dx}$$

$\lambda = 1/\Sigma$, λ est appelé libre parcours moyen et s'exprime en cm.

Nous pouvons definir le libre parcours moyen d'absorption (de diffusion) comme l'inverse de la section efficace macroscopique d'absorption (de diffusion).

Le libre parcours moyen de diffusion , par exemple , représente la distance moyenne parcourue avant un choc diffusant par un neutron qui n'a pas ete absorbé .

II-4-4 -TAUX DE REACTION :

La probabilité d'interaction d'un neutron animé d'une vitesse V pendant un intervalle de temps dt est $\Sigma \cdot dx = \Sigma \cdot V \cdot dt$

si ces neutrons évoluent dans un milieu de densité N noyaux par cm^3 , le nombre de réactions pendant dt est : $N \cdot \Sigma \cdot V \cdot dt$, et par unite de temps : $R = N \cdot \Sigma \cdot V$

R étant le nombre de réactions par unité de volume et par unité de temps ; ou taux de réaction .

La quantité $N.V$ est appelée flux neutronique et notée ϕ .

Le flux neutronique est exprimé en neutrons par cm^2 et par seconde .

$R = \Sigma \cdot \phi$, on distinguera les taux d'absorption , de diffusion , ...

II-4-5 -NEUTRONS THERMIQUES :

Après ralentissement , les neutrons parvenus a l'équilibre thermique avec le milieu dans lequel ils diffusent ont un spectre de vitesse qui est le meme que celui des atomes en agitation thermique , leur distribution énergétique est décrite par le spectre Maxwellien donné par la fonction

$$N(E) = 2 \cdot \pi \cdot N \cdot E^{1/2} \cdot \frac{\exp(-E/K.T)}{(\pi \cdot K.T)^{3/2}}$$

K : constante de BOLTZMANN ($K = 8,6170 \cdot 10^{-5} \text{ ev/}^\circ\text{K}$)

T : température absolue du milieu en degres KELVIN .

L'énergie la plus probable pour ce spectre est obtenue en calculant la valeur de E_p pour laquelle s'annule la dérivée de $N(E)$.

$$E_p = E_0/2 = KT/2$$

L'énergie moyenne du spectre est définie par :

$$E_m = \frac{1}{N} \int_0^{\infty} N(E) \cdot E \cdot dE$$

on trouve : $E_m = 3 \cdot K \cdot T/2$

II -5- THEORIE DES REACTEURS NUCLEAIRES :

II-5-1 EQUATION DE CONTINUTE :

Le bilan donnant la variation de la population neutronique dans un volume de controle V s'écrit :

[taux de variation des neutrons dans V] = [taux de production de neutrons dans V] -

[taux de fuites vers l'exterieur] - [taux d'absorption dans V]

$$\int_V \frac{\partial N}{\partial t} \cdot dV = \int_V S dV - \int_V \Sigma_r \cdot \phi \cdot dV - \int_A J \cdot N \cdot dA$$

J : densité de courant de neutrons , donnée par la loi de FICK

$$J = -D \cdot \nabla \phi$$

D : coefficient de diffusion

* $\int_A \mathbf{J} \cdot \mathbf{n} \cdot dA$ étant une intégrale de surface à calculer autour de la surface du volume de contrôle A, peut être transformée en intégrale de volume par le théorème de la divergence

$$* \int_A \mathbf{J} \cdot \mathbf{n} \cdot dA = \int_V \text{div} \mathbf{J} \cdot dV$$

Le bilan neutronique s'écrira alors :

$$\int_V \frac{\partial N}{\partial t} \cdot dV = \int_V S \cdot dV - \int_V \Sigma_a \cdot \phi \cdot dV - \int_V \text{div} \mathbf{J} \cdot dV$$

l'intégration se faisant sur le même volume, on peut alors écrire

$$\frac{\partial N}{\partial t} = S - \Sigma_a \cdot \phi - \text{div} \mathbf{J}$$

$$\frac{1}{V} \cdot \frac{\partial \phi}{\partial t} = S - \Sigma_a \cdot \phi - \text{div} \mathbf{J}$$

sachant que $\mathbf{J} = -D \cdot \nabla \phi$, et en supposant que le coefficient de diffusion D est indépendant de la position, l'équation précédente devient

$$\frac{1}{V} \cdot \frac{\partial \phi}{\partial t} = S - \Sigma_a \cdot \phi + D \cdot \nabla^2 \phi$$

si la densité neutronique n'est pas une fonction du temps (régime stationnaire), l'équation du bilan se réduit à :

$$D \cdot \nabla^2 \phi - \Sigma_a \cdot \phi + S = 0$$

II-5-2-THEORIE A UN GROUPE :

Considérons un réacteur constitué d'un mélange homogène de combustible et de fluide caloporteur, on supposera que ce réacteur est composé d'une seule région et qu'il ne contient pas de réflecteur, ce type de réacteur est dit "réacteur nu".

Il est décrit par l'équation de diffusion à un groupe :

$$D \cdot \nabla^2 \phi - \Sigma_a \cdot \phi = -S$$

S : source de neutrons (neutrons par cm^3/s)

Dans un réacteur critique, la source est représentée par les neutrons émis lors de la fission

$$S = \eta \cdot \Sigma_{ac} \cdot \phi$$

Σ_{ac} : section efficace d'absorption dans le combustible.

η : nombre moyen de neutrons émis par fission par neutron absorbé dans le combustible.

Nous pouvons également écrire : $S = \eta \cdot (\Sigma_{sc}/\Sigma_a) \cdot \Sigma_a \cdot \phi = \eta \cdot f \cdot \Sigma_a \cdot \phi$

avec f : facteur d'utilisation thermique .

f = nombre de neutrons absorbés dans le combustible / nombre de neutrons absorbés dans le réacteur .

La source peut également être exprimée en fonction du facteur de multiplication défini par :

$$K = \frac{\text{nombre de fissions dans une generation}}{\text{nombre de fissions dans la generation précédente}}$$

Pour déterminer ce facteur de multiplication , considérons un réacteur infini ayant la même composition que le réacteur nu , tous les neutrons seront absorbés dans ce réacteur infini , soit par le combustible soit par le fluide caloporteur .

Le nombre de neutrons absorbés par cm^3/s dans tout le système est $\Sigma_a \cdot \phi$.

$f \cdot \Sigma_a \cdot \phi$ de ces neutrons seront absorbés dans le combustible et induiront la libération de $\eta \cdot f \cdot \Sigma_a \cdot \phi$ neutrons , donc d'après la définition du facteur de multiplication

$$K_\infty = \frac{\eta \cdot f \cdot \Sigma_a \cdot \phi}{\Sigma_a \cdot \phi} = \eta \cdot f$$

Comme η et f sont des constantes qui ne dépendent que des propriétés des matériaux utilisés , on en déduit que la valeur de K_∞ est la même pour un réacteur infini que pour notre réacteur nu , d'où

$$S = K_\infty \cdot \Sigma_a \cdot \phi$$

l'équation de diffusion devient : $D \cdot \nabla^2 \phi - \Sigma_a \cdot \phi = -K_\infty \cdot \Sigma_a \cdot \phi$

$$\nabla^2 \phi + (K_\infty - 1) \cdot \frac{\Sigma_a \cdot \phi}{D} = 0$$

nous définirons l'aire de diffusion L^2 par $L^2 = D / \Sigma_a$

$$\nabla^2 \phi + (K_\infty - 1) \cdot \frac{\phi}{L^2} = 0$$

A ce stade il est convenable de faire intervenir le laplacien matière B^2 défini par :

$$B^2 = \frac{(K_\infty - 1)}{L^2}$$

L'équation de diffusion à un groupe se réduit à :

$$\nabla^2 \phi + B^2 \cdot \phi = 0 \quad (A)$$

Cette dernière équation est très importante , elle est appelée " équation du réacteur à un groupe " , elle permet , compte tenu des conditions aux limites sur ϕ , de déterminer la distribution spatiale du flux ainsi que les conditions à satisfaire pour avoir un réacteur critique .

II-5-2-1-DISTRIBUTION RADIALE DU FLUX :

L'équation (A) devient :

$$\frac{d^2\phi}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{d\phi}{dr} + B^2 \cdot \phi = 0$$

cette dernière est une forme particulière de l'équation de BESSEL :

$$\frac{d^2\phi}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{d\phi}{dr} + (B^2 - \frac{n^2}{r^2})\phi = 0$$

solution de l'équation de BESSEL : $A_1 \cdot J_n(B \cdot r) + C_1 \cdot Y_n(B \cdot r)$

J_n et Y_n : fonctions de BESSEL de première et de deuxième espèce, d'ordre n .

Pour notre cas, $n = 0$ ce qui implique

$$\phi(r) = A_1 \cdot J_0(B \cdot r) + C_1 \cdot Y_0(B \cdot r)$$

Comme $J_0(0) = 1$ et $Y_0(0) = -\infty$, on déduit que $C_1 = 0$.

$$\phi(r) = A_1 \cdot J_0(B \cdot r)$$

Condition au limite : $\phi(R_{ex}) = 0$

avec $R_{ex} = R + 0,71 \cdot \lambda_{tr}$, λ_{tr} étant le libre parcours moyen de transport.

$$\phi(R_{ex}) = A_1 \cdot J_0(B \cdot R_{ex}) = 0.$$

La fonction de BESSEL $J_0(x)$ s'annule en un certain nombre de points x_1, x_2, \dots, x_n , mais comme on est dans un réacteur critique, seule la première valeur est prépondérante.

$$x_1 = B_1 \cdot R_{ex} = 2,405$$

$$\phi(r) = A_1 \cdot J_0(2,405 \cdot r/R_{ex})$$

II-5-2-2-DISTRIBUTION AXIALE DU FLUX :

L'équation (A) s'écrit : $d^2\phi/dz^2 + B^2 \cdot \phi = 0$

elle admet comme solution : $\phi(z) = A_2 \cdot \cos(B \cdot z) + C_2 \cdot \sin(B \cdot z)$

z étant mesuré à partir du centre du réacteur.

La symétrie du problème impose $[d\phi/dz] = 0$, ce qui implique que $C_2 = 0$

$$\phi(z) = A_2 \cdot \cos(B \cdot z)$$

condition au limite : $\phi(L_{ex}/2) = 0$, avec $L_{ex} = L + 1,42 \cdot \lambda_{tr}$ (longueur extrapolée)

$$\phi(L_{ex}/2) = 0 \text{ implique que } \cos(B \cdot L_{ex}/2) = 0$$

d'où $B \cdot L_{ex}/2 = n \cdot \pi/2$, avec n entier impair.

Comme pour le cas précédant , on ne s'intéressera qu'a la premiere valeur qui donne un réacteur critique , soit $B_1 = \pi/L_{ax}$, ce qui donne

$$\phi(z) = A_2 \cdot \cos(\pi \cdot z/L_{ax})$$

Finalement , la distribution spatiale du flux sera :

$$\phi(r,z) = A \cdot J_0(2,405 \cdot r/R_{ax}) \cdot \cos(\pi \cdot z/L_{ax})$$

REMARQUE : la puissance suit fidèlement la meme loi de distribution que le flux de neutrons , soit $P(r,z) = P_0 \cdot J_0(2,405 \cdot r/R_{ax}) \cdot \cos(\pi \cdot z/L_{ax})$

P_0 : puissance au centre géométrique du réacteur .

II-5-3 - THEORIE MULTIGROUPE :

En tenant compte du fait que le spectre d'émission des neutrons prompts diffère de celui des neutrons retardés , et que les transferts de neutrons ne peuvent se faire que vers les groupes de plus faible énergie .

Les équations de la diffusion s'écrivent pour le groupe ($1 < i < n$) .

$$\frac{1}{v_i} \cdot \frac{d\phi_i}{dt} = D_i \cdot \Delta \phi_i - \Sigma_i \cdot \phi_i + (1-\beta) \chi_i \sum_{k=1}^n v_k \cdot \Sigma_k \cdot \phi_k + \lambda \cdot C + \sum_{k=1}^i \Sigma_{k \rightarrow i} \cdot \phi_k \quad (*)$$

$$dC/dt = \chi' \beta \cdot \sum_{k=1}^n v_k \cdot \Sigma_k \cdot \phi_k - \lambda \cdot C \quad (**)$$

notations utilisées :

ϕ_i : flux de neutrons dans le groupe i

v_i : vitesse supposée uniforme dans le groupe i

D_i : coefficient de diffusion , supposé isotrope , des neutrons dans le groupe i

Σ_i : section efficace de retrait du groupe i par absorption et par transfert vers les groupes $k > i$

$$\Sigma_i = \Sigma_{ai} + \sum_{k=1}^i \Sigma_{i \rightarrow k}$$

χ_i : fraction des neutrons prompts qui naissent dans le groupe i

χ'_i : fraction des neutrons retardés qui naissent dans le groupe i

v_k : nombre moyen de neutrons emis dans le groupe k par neutron absorbé

Σ_k : section efficace de fission dans le groupe k

$\Sigma_{k \rightarrow i}$: section efficace de transfert du groupe k vers le groupe i ($k < i$)

$\lambda.C = \sum \lambda_j C_j$: contribution au flux neutronique des produits de fission radioémetteurs de neutrons retardés .

Les équations du réacteur critique associé s'obtiennent en annulant les deux premiers membres des équations (*) et (* *) , et en divisant les termes de production de neutrons par K_{eff} , ce qui donne :

$$0 = D_i \cdot \Sigma \phi_i + \Sigma_i \cdot \phi_i + \frac{(1-\beta)}{K_{eff}} \cdot \chi_i \cdot \sum_{k=1}^n \nu_k \cdot \Sigma_{rk} \cdot \phi_k + \frac{\beta}{K_{eff}} \chi_i \cdot \sum_{k=1}^n \nu_k \cdot \Sigma_{rk} \cdot \phi_k + \sum_{k=1}^n \Sigma_{k,i} \cdot \phi_k \quad (***)$$

$$\lambda.C = \frac{\beta}{K_{eff}} \chi \cdot \sum_{k=1}^n \nu_k \cdot \Sigma_{rk} \cdot \phi_k$$

Il est préférable d'écrire les équations de la diffusion pour un réacteur critique sous forme matricielle.

$$0 = \Delta \phi + E \cdot \phi$$

Avec $E = \frac{1}{D} \left(A + \frac{P}{K} \right)$

A: Matrice d'absorption retrait dans les différents groupes .

P: Matrice de production de neutrons dans les différents groupes .

K_{eff} : coefficient de multiplication effectif .

E: Matrice énergie.

D: Matrice coefficient de diffusion .

Décomposons la matrice énergie en deux matrices , production et retrait .

$$E = O_1 + \nu \cdot O_2$$

Avec $O_1 = A/D$

$$\nu \cdot O_2 = [(1-\beta)U_{np} + \beta \cdot U_{nr}] \cdot (1/k \cdot D) \cdot V$$

L'équation (* * *) s'écrit :

$$0 = \Delta \phi + [O_1 + \nu \cdot O_2]$$

$$0 = \Delta \phi + \left\{ \frac{(A+P/K_{eff})}{D} + \frac{[(1-\beta)U_{np} + \beta \cdot U_{nr}] \cdot V}{K_{eff} \cdot D} \right\} \cdot \phi$$

U_{np} : spectre des neutrons de fission prompts

U_{nr} : spectre des neutrons de fission retardés .

V : spectre de nu-fission

ϕ : flux du réacteur critique

$$U_{np} = \begin{bmatrix} \chi_1 \\ \chi_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \chi_0 \end{bmatrix} \quad U_{nr} = \begin{bmatrix} \chi_1 \\ \chi_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \chi_0 \end{bmatrix} \quad V = (v_1 \cdot \Sigma_0, v_2 \cdot \Sigma_1, \dots, v_n \cdot \Sigma_n) \quad \phi = n(t) \quad \begin{bmatrix} \phi_1(r,E) \\ \phi_2(r,E) \\ \cdot \\ \cdot \\ \phi_n(r,E) \end{bmatrix}$$

A : matrice de retrait (absorption + transfert)

$$A = \begin{bmatrix} -\Sigma_1 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot \\ \Sigma_{1,2} & -\Sigma_2 & 0 & \cdot & \cdot \\ \Sigma_{1,3} & \Sigma_{2,3} & -\Sigma_3 & 0 & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \Sigma_{1,n} & \Sigma_{2,n} & \Sigma_{3,n} & \cdot & -\Sigma_n \end{bmatrix}$$

II-5 -3 -1-APPLICATION A 4 GROUPE D'ENERGIE :
Les equations du réacteur critique pour ce cas s'écrivent

$$D_1 \Delta \phi_1 - \Sigma_1 \phi_1 + (1/k_{eff}) \cdot [(1-\beta)\chi_1 + \beta\chi_1] \cdot \sum_{k=1}^4 v_k \cdot \Sigma_k \cdot \phi_k = 0$$

$$D_2 \Delta \phi_2 - \Sigma_2 \phi_2 + (1/k_{eff}) \cdot [(1-\beta)\chi_2 + \beta\chi_2] \cdot \sum_{k=1}^4 v_k \cdot \Sigma_k \cdot \phi_k + \Sigma_{1,2} \phi_1 = 0$$

$$D_3 \Delta \phi_3 - \Sigma_3 \phi_3 + (1/k_{eff}) \cdot [(1-\beta)\chi_3 + \beta\chi_3] \cdot \sum_{k=1}^4 v_k \cdot \Sigma_k \cdot \phi_k + \Sigma_{1,3} \phi_1 + \Sigma_{2,3} \phi_2 = 0$$

$$D_4 \Delta \phi_4 - \Sigma_4 \phi_4 + (1/k_{eff}) \cdot [(1-\beta)\chi_4 + \beta\chi_4] \cdot \sum_{k=1}^4 v_k \cdot \Sigma_k \cdot \phi_k + \Sigma_{1,4} \phi_1 + \Sigma_{2,4} \phi_2 + \Sigma_{3,4} \phi_3 = 0$$

on aura donc

$$U_{np} = \begin{bmatrix} \chi_1 \\ \chi_2 \\ \chi_3 \\ \chi_4 \end{bmatrix} \quad U_{nr} = \begin{bmatrix} \chi_1 \\ \chi_2 \\ \chi_3 \\ \chi_4 \end{bmatrix} \quad V = (v_1 \cdot \Sigma_0, v_2 \cdot \Sigma_1, v_3 \cdot \Sigma_2, v_4 \cdot \Sigma_3)$$

$$A = \begin{bmatrix} -\Sigma_1 & & & \\ \Sigma_{1,2} & -\Sigma_2 & & \\ \Sigma_{1,3} & \Sigma_{2,3} & -\Sigma_3 & \\ \Sigma_{1,4} & \Sigma_{2,4} & \Sigma_{3,4} & -\Sigma_4 \end{bmatrix}$$

$$[D] = \begin{bmatrix} D_1 & & & \\ & D_2 & & \\ & & D_3 & \\ & & & D_4 \end{bmatrix} \quad [D]^{-1} = \begin{bmatrix} 1/D_1 & & & \\ & 1/D_2 & & \\ & & 1/D_3 & \\ & & & 1/D_4 \end{bmatrix}$$

$$E = O_1 + v.O_2$$

Avec $O_1 = (1/D).A$

$$O_1 = \begin{bmatrix} 1/D_1 & & & \\ & 1/D_2 & & \\ & & 1/D_3 & \\ & & & 1/D_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\Sigma_1 & 0 & & \\ \Sigma_{1,2} & -\Sigma_2 & 0 & \\ \Sigma_{1,3} & \Sigma_{2,3} & -\Sigma_3 & 0 \\ \Sigma_{1,4} & \Sigma_{2,4} & \Sigma_{3,4} & -\Sigma_4 \end{bmatrix}$$

$$v.O_2 = [(1-\beta).U_{np} + \beta.U_{ar}](1/K_{eff}.D).V$$

$$vO_2 = \left\{ (1-\beta) \begin{bmatrix} \chi_1 \\ \chi_2 \\ \chi_3 \\ \chi_4 \end{bmatrix} + \beta \begin{bmatrix} \chi_1 \\ \chi_2 \\ \chi_3 \\ \chi_4 \end{bmatrix} \right\} \begin{bmatrix} 1/K_{eff}.D_1 & & & \\ & 1/K_{eff}.D_2 & & \\ & & 1/K_{eff}.D_3 & \\ & & & 1/K_{eff}.D_4 \end{bmatrix} \quad (v_1\Sigma_{n1}, v_2\Sigma_{n2}, v_3\Sigma_{n3}, v_4\Sigma_{n4})$$

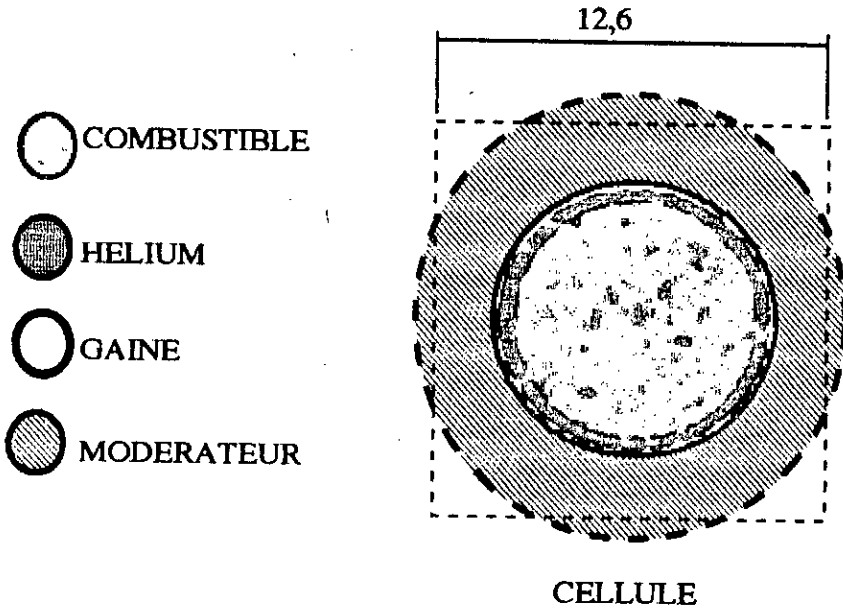
La matrice énergie sera donc :

E=

$$\begin{aligned}
& v \Sigma_{t+1} [(1-\beta)\chi_t + \beta\chi_{t-1}] / KD_{t+1} - \Sigma_t / D_t & v \Sigma_{t+1} [(1-\beta)\chi_t + \beta\chi_{t-1}] / KD_{t+1} & v \Sigma_{t+1} [(1-\beta)\chi_t + \beta\chi_{t-1}] / KD_{t+1} & \Sigma_{t+1} [(1-\beta)\chi_t + \beta\chi_{t-1}] / KD_{t+1} \\
& v \Sigma_{t+1} [(1-\beta)\chi_t + \beta\chi_{t-1}] / KD_{t+1} + \Sigma_{t+1} / D_{t+1} & v \Sigma_{t+1} [(1-\beta)\chi_t + \beta\chi_{t-1}] / KD_{t+1} - \Sigma_t / D_t & v \Sigma_{t+1} [(1-\beta)\chi_t + \beta\chi_{t-1}] / KD_{t+1} & v \Sigma_{t+1} [(1-\beta)\chi_t + \beta\chi_{t-1}] / KD_{t+1} \\
& v \Sigma_{t+1} [(1-\beta)\chi_t + \beta\chi_{t-1}] / KD_{t+1} + \Sigma_{t+1} / D_{t+1} & v \Sigma_{t+1} [(1-\beta)\chi_t + \beta\chi_{t-1}] / KD_{t+1} + \Sigma_{t+1} / D_{t+1} & v \Sigma_{t+1} [(1-\beta)\chi_t + \beta\chi_{t-1}] / KD_{t+1} & v \Sigma_{t+1} [(1-\beta)\chi_t + \beta\chi_{t-1}] / KD_{t+1} \\
& v \Sigma_{t+1} [(1-\beta)\chi_t + \beta\chi_{t-1}] / KD_{t+1} + \Sigma_{t+1} / D_{t+1} & v \Sigma_{t+1} [(1-\beta)\chi_t + \beta\chi_{t-1}] / KD_{t+1} + \Sigma_{t+1} / D_{t+1} & v \Sigma_{t+1} [(1-\beta)\chi_t + \beta\chi_{t-1}] / KD_{t+1} & v \Sigma_{t+1} [(1-\beta)\chi_t + \beta\chi_{t-1}] / KD_{t+1}
\end{aligned}$$

II-6- NOTION DE CELLULE

Une cellule est un élément combustible dans la partie du modérateur qu'on peut lui attacher.
 Pour fixer les idées, un exemple de cellule (cylindrisé) qui fait l'objet de notre étude, il s'agit d'un réacteur PWR refroidi à l'eau (voir FIG ci dessous)



CELLULE

*Combustible d'UO₂ (Rayon = 0,4095 cm) [1]

*Hélium : He (Rayon = 0,4180 cm) [4]

*Gaine en Zircalloy: Zr (Rayon = 0,4750 cm) [2]

*Modérateur : H₂O (Rayon = 1,42 cm)

Les cellules sont généralement de forme carrée ou hexagonale etc ...

En général il est préférable d'utiliser des formes cylindriques, pour faciliter la manipulation et le développement des équations ainsi que les calculs, c'est l'hypothèse de la cylindrisation.

II-7-CALCUL DES CONCENTRATIONS DES DIFFERENTS ISOTOPES DANS LA CELLULE ELEMENTAIRE :

II-7-1-MILIEU COMBUSTIBLE :

Il est constitué de dioxyde d'uranium dont la densité théorique est $\rho_{th} = 10,5 \text{ g/cm}^3$.

Dans la pratique, la densité des pastilles d'UO₂ qui sont obtenues par frittage est de 95 % cette densité.

$$N(UO_2) = \mathcal{N} \cdot \rho(UO_2) / A(UO_2)$$

\mathcal{N} : Nombre d'AVOGADRO ($\mathcal{N} = 6,023 \cdot 10^{23}$ molécules/mole)

$A(\text{UO}_2)$: masse molaire d' UO_2

$$N(\text{UO}_2) = 6,023 \cdot 10^{23} \cdot 10,5 \cdot 0,95 / (238 + 2 \cdot 16) = 2,2252 \cdot 10^{22} \text{ molecules/cm}^3.$$

Volume du combustible (par unite de hauteur) :

$$V_c = \pi \cdot (0,4095)^2 = 0,5281 \text{ cm}^3.$$

Concentration d'oxygene dans le milieu combustible :

$$N(\text{O}) = 2 \cdot N(\text{UO}_2) = 4,45 \cdot 10^{22} \text{ atomes/cm}^3$$

II-7-2-MILIEU GAINÉ :

Nous supposons que la gaine est formee de ZIRCONIUM pur.

$$N(\text{Zr}) = \mathcal{N} \cdot \rho(\text{Zr}) \cdot V_{\text{Zr}} / [A(\text{Zr}) \cdot (V_{\text{Zr}} + V_{\text{He}})]$$

$\rho(\text{Zr})$: densite du zircalloy que l'on assimile a du zirconium pur ($\rho(\text{Zr}) = 6,49 \text{ g/cm}^3$)

$A(\text{Zr})$: masse molaire du zirconium ($A(\text{Zr}) = 91 \text{ g/mole}$)

V_{Zr} : volume du zirconium ($V_{\text{Zr}} = 0,1599 \text{ cm}^3$)

V_{He} : volume d'hélium ($V_{\text{He}} = 0,2210 \cdot 10^{-1} \text{ cm}^3$)

$$N(\text{Zr}) = 3,7740 \cdot 10^{22} \text{ atomes/cm}^3$$

II-7-3 -MILIEU EAU

Volume d'eau : $V_{\text{H}_2\text{O}} = \pi \cdot (R_3^2 - R_2^2)$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = \pi \cdot [(0,71)^2 - (0,475)^2]$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 0,878 \text{ cm}^3$$

Concentration d'eau : $N(\text{H}_2\text{O}) = \mathcal{N} \cdot \rho(\text{H}_2\text{O}) / A(\text{H}_2\text{O})$.

$$N(\text{H}_2\text{O}) = 6,023 \cdot 10^{23} \cdot 1/18$$

$$N(\text{H}_2\text{O}) = 3,346 \cdot 10^{22} \text{ molecules/cm}^3$$

CONCENTRATION POUR DIFFERENTS ENRICHISSEMENT

x	2,1 %	2,6 %	2,8 %	3,2 %
Nu_{235}	$4,6728 \cdot 10^{20}$	$5,7854 \cdot 10^{20}$	$6,2305 \cdot 10^{20}$	$7,1205 \cdot 10^{20}$
Nu_{238}	$2,1784 \cdot 10^{22}$	$2,1673 \cdot 10^{22}$	$2,1629 \cdot 10^{22}$	$2,1540 \cdot 10^{22}$

Nu_{235} : Concentration de l'uranium 235 .

$$\sigma_{s0} = 3,76 \text{ barns}$$

la section efficace macroscopique de diffusion sera donc :

$$\Sigma_{sc} = 0,3677 \text{ cm}^{-1}$$

II-8-4 -COEFICIENT ET LONGUEUR DE DIFFUSION DU COMBUSTIBLE :

Ils sont donnes par les relations suivantes

$$D_c = \frac{1}{3} \cdot \Sigma_{trc}$$

$$L_c = [D_c / \Sigma_{trc}]^{1/2}$$

Σ_{trc} : section efficace de transport du combustible , elle est égale a

$$\Sigma_{trc} = \Sigma_{sc} + \Sigma_{sc}(1 - \cos \theta_c)$$

$\cos \theta_c$: cosinus moyen de l'angle de diffusion des neutrons qu'on peut calculer par

$$\cos \theta_c = (2/3) \cdot A_c, A_c \text{ masse molaire moyenne du combustible } (\cos \theta_c = 2,6253 \cdot 10^{-3})$$

Finalement , le coefficient et la longueur de diffusion du combustible seront

$$D_c = 0,4820 \text{ cm}$$

$$L_c = 1,2180 \text{ cm}$$

II-9-CALCUL DES CONSTANTES NEUTRONIQUES DU MODERATEUR :

Nous considérerons que le modérateur est formé d'eau , de zirconium pur et du volume d'hélium que nous assimilerons a du vide .

II-9-1-SECTION EFFICACE MACROSCOPIQUE D'ABSORPTION :

$$\Sigma_{am} = \frac{(\pi)^{1/2}}{2} \cdot (T_0/T)^{1/2} \cdot [N(\text{H}_2\text{O}) \cdot \sigma_a(\text{H}_2\text{O}) \cdot V(\text{H}_2\text{O})/V_m + N(\text{Zr}) \cdot \sigma_a(\text{Zr}) \cdot V(\text{Zr})/V_m]$$

$$N(\text{H}_2\text{O}) = 3,3461 \cdot 10^{22} \text{ molécules/cm}^3$$

$$N(\text{Zr}) = 3,7740 \cdot 10^{22} \text{ atomes/cm}^3$$

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 0,8788 \text{ cm}^3$$

$$V(\text{Zr}) = V(\text{Zr} + \text{vide}) = 0,1820 \text{ cm}^3$$

$$V_m = 1,0608 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_a(\text{H}_2\text{O}) = 0,664 \text{ barns}$$

$$\sigma_a(\text{Zr}) = 0,185 \text{ barns}$$

$$\Sigma_{am} = 1,7227 \text{ cm}^{-1}$$

	$x = 0,3362$	$y = 0,1580$	$0,2742$
l_0	$1,0285$	$1,0063$	
l_1	$0,1705$	$0,0792$	$0,1384$
K_0		$1,9798$	
K_1		$6,1351$	$3,3811$

$F(x)=1,0141$

$E(y,z) = 1,0059$, finalement nous obtenons $1/f = 1,1142$

$f = 0,8975$

II-10-2 -FACTEUR DE DESAVANTAGE :

Il est donné par la relation

$$\phi_m/\phi_c = [\Sigma_{ac} \cdot V_c(1-f)] / [\Sigma_{am} \cdot V_m \cdot f]$$

ϕ_m : flux moyen dans le modérateur

ϕ_c : flux moyen dans le combustible

$\phi_m/\phi_c = 1,0694$

APPLICATION AUX CALCULS DES CONSTANTES NEUTRONIQUE DU GROUPE THERMIQUE :

$$\Sigma_{s4} = \Sigma_s = \frac{\Sigma_{sc} + \Sigma_{sm} \cdot (\phi_m \cdot V_m) / (\phi_c \cdot V_c)}{1 + (\phi_m \cdot V_m) / (\phi_c \cdot V_c)}$$

$\Sigma_{s4} = \Sigma_s = 0,1148 \text{ cm}^{-1}$.

Le coefficient de diffusion est donné par :

$$D_4 = \frac{1 + (\phi_m \cdot V_m) / (\phi_c \cdot V_c)}{1/D_c + (\phi_m \cdot V_m) / (D_m \cdot \phi_c \cdot V_c)}$$

$D = 0,1525 \text{ cm}$

Tableau récapitulatif :

x %	Σ_a cm ⁻¹	Σ_s cm ⁻¹	Σ_f cm ⁻¹	D_c cm	L_c cm	D_d cm	$\Sigma_{a_d} = \Sigma_d$ cm ⁻¹
2,1	0,3249	0,3677	0,2330	0,4820	1,2180	0,1525	0,1148
2,6	0,3910	0,3691	0,2888	0,4397	1,0618	0,1506	0,1342
2,8	0,4159	0,3693	0,3110	0,4250	1,0109	0,1498	0,1418
3,2	0,4677	0,3698	0,3554	0,3984	0,9230	0,1484	0,1568

II-11-CALCUL DE LA TAILLE CRITIQUE DU COEUR NU A PARTIR DES SORTIES DE CODE WIMS-D4 (annexe 2) :

Pour un enrichissement $x=2,1\%$, le code WIMS-D4 fournit les constantes neutroniques suivantes :

$K_\infty = 1,300756$

$K_{eff} = 1,000023$

	1	2	3	4
Σ_a	$3,89317 \cdot 10^{-3}$	$2,47646 \cdot 10^{-3}$	$2,082 \cdot 10^{-2}$	$8,81029 \cdot 10^{-2}$
D	2,30789	$9,58968 \cdot 10^{-1}$	$6,56535 \cdot 10^{-1}$	$4,32168 \cdot 10^{-1}$
$v \cdot \Sigma_f$	$9,00188 \cdot 10^{-3}$	$7,02435 \cdot 10^{-4}$	$9,24905 \cdot 10^{-3}$	$1,35463 \cdot 10^{-1}$
$(1-\beta)\chi_i + \beta\chi_i$	$7,4522 \cdot 10^{-1}$	$2,545513 \cdot 10^{-1}$	$2,006703 \cdot 10^{-4}$	0

Les sections efficaces de transfert (Σ_{i-j}) sont :

	1	2	3	4
1	$6,0756 \cdot 10^{-2}$	$7,5643 \cdot 10^{-2}$	$3,7833 \cdot 10^{-4}$	0
2	0	$2,7162 \cdot 10^{-1}$	$7,9567 \cdot 10^{-2}$	$7,7182 \cdot 10^{-6}$
3	0	0	$4,3186 \cdot 10^{-1}$	$7,3213 \cdot 10^{-2}$
4	0	0	$4,1457 \cdot 10^{-4}$	1,1425

Les sections efficaces de retrait seront donc :

$$\Sigma_1 = \Sigma_{1,1} + \Sigma_{1,2} + \Sigma_{1,3} + \Sigma_{1,4}$$

$$\Sigma_1 = 7,9915 \text{ cm}^{-1}$$

$$\Sigma_2 = \Sigma_{2,2} + \Sigma_{2,3} + \Sigma_{2,4}$$

$$\Sigma_2 = 8,2051 \cdot 10^{-2}$$

$$\Sigma_3 = \Sigma_{3,3} + \Sigma_{3,4}$$

$$\Sigma_3 = 9,4033 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^{-1}$$

$$\Sigma_4 = \Sigma_{4,4} = 8,8103 \text{ cm}^{-1}$$

En injectant les valeurs des differants parametres qu'on vient de calculer dans l'expression de la matrice energie , on trouve .

$$E = \begin{bmatrix} -3,1720 \cdot 10^2 & 2,2681 \cdot 10^4 & 2,9865 \cdot 10^3 & 4,3740 \cdot 10^2 \\ 8,1269 \cdot 10^2 & -8,5376 \cdot 10^2 & 2,4550 \cdot 10^3 & 3,5957 \cdot 10^2 \\ 5,7900 \cdot 10^4 & 1,2119 \cdot 10^1 & -1,4322 \cdot 10^1 & 4,1403 \cdot 10^5 \\ 0 & 1,7859 \cdot 10^5 & 1,6941 \cdot 10^1 & -2,0386 \cdot 10^1 \end{bmatrix}$$

II-11-1-CALCUL DU LAPLACIEN MATIERE :

Le laplacien matiere B_m^2 est donne par la formule

$$B_m^2 = \frac{(-1)^n (1-K_\omega)}{(\tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \dots \cdot \tau_{n-1} \cdot L_n^2)} \quad \text{[somme des mineurs des termes diagonaux]}$$

mineur associe a $(-3,1720 \cdot 10^2) = -1,6932 \cdot 10^3$

mineur associe a $(-8,5376 \cdot 10^2) = -9,2129 \cdot 10^4$

mineur associe a $(-1,4322 \cdot 10^1) = -5,4824 \cdot 10^4$

mineur associe a $(-2,0386 \cdot 10^1) = -3,4622 \cdot 10^4$

somme des mineurs des termes diagonaux = $-3,5090 \cdot 10^3$

$\tau_1 = D_1 / \Sigma_1 = 28,8795 \text{ cm}^2$

$\tau_2 = D_2 / \Sigma_2 = 11,6874 \text{ cm}^2$

$\tau_3 = D_3 / \Sigma_3 = 6,9820 \text{ cm}^2$

$L_4^2 = D_4 / \Sigma_4 = 4,9053 \text{ cm}^2$

$\tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot L_4^2 = 11559,7597$

$$B_m^2 = [(1-1,300756)/11559,7597]/(-3,5090.10^{-3})$$

$$B_m^2 = 7,4146.10^{-3}$$

Condition de criticité : $B_m^2 = B_g^2$

Pour un réacteur cylindrique fini , le laplacien géométrique est donné par la formule suivante :

$$B_g^2 = \left(\frac{\pi}{R_{ex}} \right)^2 + \left(\frac{2,405}{H_{ex}} \right)^2$$

En plus , pour avoir un réacteur de masse critique minimale , il faut que $H_s = 1,82.R_{ex}$.

$$\text{On aura donc : } R_{ex}^2 = \frac{(2,405)^2 + \left(\frac{\pi}{1,82} \right)^2}{B_m^2}$$

D'ou $R_{ex} = 34,38 \text{ cm}$

$H_{ex} = 62,57 \text{ cm}$

Pour plus de précision , on adoptera comme dimensions critiques du coeur , celles obtenues en utilisant B_m^2 donnée par le code WIMS -D 4 .

Le laplacien matière donné par le code est : $B_m^2 = 7,2411.10^{-3}$

D'ou $R_{ex} = 34,7886 \text{ cm}$

$H_{ex} = 62,3153 \text{ cm}$

$d = 0,71.\lambda_{tr}$ et $\lambda_{tr} = 3.D$

$d = 2,13.D$

R : rayon du coeur critique nu .

H : hauteur du coeur critique nu .

λ_{tr} : libre parcours moyen de transport

D : coefficient de diffusion .

d : distance d'extrapolation .

La distance d'extrapolation moyenne pour les quatres groupes d'énergie est :

$$d_{moy} = 2,13.(D_1 + D_2 + D_3 + D_4)/4$$

D_i ($i=1,4$) : coefficient de diffusion du groupe énergétique i .

$D_1 = 2,3078 \text{ cm}$ & $D_2 = 9,5896 .10^{-1} \text{ cm}$

$D_3 = 6,5653.10^{-1} \text{ cm}$ & $D_4 = 4,3216.10^{-1} \text{ cm}$

$d_{moy} = 2,3193 \text{ cm}$

$$R = R_{ex} - d_{moy} \quad \& \quad R_{ex} = 34,79 \text{ cm} \quad R = 32,47 \text{ cm}$$

$$H = H_{ex} - 2d_{moy} \quad \& \quad H_{ex} = 62,32 \text{ cm} \quad H = 58,68 \text{ cm}$$

A ce stade il est intéressant de comparer le laplacien matière calculé à la main avec celui fournit par le code WIMS-D4 :

	calcul a la main	sortie de code	incertitude
B_m^2	$7,4146 \cdot 10^{-3}$	$7,24115 \cdot 10^{-3}$	2,34 %

II-11-2-VOLUME DU COEUR CRITIQUE :

$$V_{crit} = \pi \cdot R^2 \cdot H = 194340,2546 \text{ cm}^3$$

Masse critique d'UO₂ dans le coeur

$$M(\text{UO}_2) = \rho(\text{UO}_2) \cdot V_{coeur} \cdot (V_{comb}/V_{total})_{critique}$$

La densité réelle de l'UO₂ est égale à 95 % sa densité théorique .

$$M(\text{UO}_2) = 10,5 \cdot 0,95 \cdot 10^6 \cdot 194340,2546 \cdot (0,5268/1,5876)$$

$$M(\text{UO}_2) = 0,643268 \text{ tonne}$$

II-11-3 -CALCUL DES DIMENSIONS REELLES DU COEUR NU :

Le flux neutronique est donné par :

$$\phi = n \cdot v_m$$

n : Nombre de neutrons par unite de volume .

v_m : Vitesse moyenne des neutrons .

$$v_m = 2 \cdot v_0 / (\pi)^{1/2}$$

v_0 : Vitesse des neutrons thermique ($v_0 = 2200 \text{ m/s}$)

Pour un réacteur de 1 Watt ,le nombre n de neutrons varie dans la plage [25,30] .

Donc le flux pour un réacteur de puissance P= 100 MW thermique avec n=30 est :

$$\phi = 30 \cdot 100 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 2200 \cdot 10^2 / (\pi)^{1/2}$$

$$\phi = 7,4473 \cdot 10^{14} \text{ neutrons/cm}^2 \cdot \text{s}$$

II-11-4 - CALCUL DE LA PUISSANCE SPECIFIQUE :

$$P_s = A \cdot \phi \cdot N \cdot \sigma_f / \rho \text{ [MW/tonne]}$$

A : Facteur de conversion du Mev en Mw ($A = 3,22 \cdot 10^{11}$)

N : Nombre d'atomes fissiles ($N = 4,6728 \cdot 10^{20} \text{ neutrons/cm}^2$)

ρ : Densité d'UO₂ ($\rho = 10,5 \cdot 0,95 \text{ g/cm}^3$)

$$P_1 = 637,5391 \text{ Mw/tonne d'U}_3$$

Masse d'uranium 235 est :

$$M_{u_3} = P/P_1$$

$$M_{u_3} = 0,1568 \text{ tonne d'U}_3$$

Masse de dioxyde d'uranium $M(\text{UO}_2)$

$$\text{Sachant que: } M_{u_3} = M(\text{UO}_2) \cdot \frac{x}{100} \left(\frac{A(\text{U}_3)}{A(\text{U}_8)} \right)$$

$A(\text{U}_3)$ et $A(\text{U}_8)$ sont les masses molaires de l'uranium 235 et 238 , respectivement .

x : enrichissement du combustible ($x=2,1 \%$)

on tire $M(\text{UO}_2) = 8,07101$ tonnes

Par analogie on a:

Masse critique du coeur (0,643268 tonne d' UO_2) ----- volume critique du coeur (194340,2546 cm^3)

Masse réelle du coeur (8,0711 tonne d' UO_2) ----- volume réel du coeur

$$\text{D'ou } V = 2438387,764 \text{ cm}^3$$

Le rayon et la hauteur réels du coeur nu sont :

$$R = 75,27 \text{ cm}$$

$$H = 136,99 \text{ cm}$$

Masse totale d'uranium 235 et 238 est :

$$M_{u_{3,8}} = M(\text{UO}_2) \cdot \frac{A(\text{U}_3) \cdot x + A(\text{U}_8) \cdot (100 - x) / 100}{A(\text{U}_3) \cdot x + A(\text{U}_8) \cdot (100 - x) / 100 + 2 \cdot A(\text{O})}$$

$A(\text{O})$: Masse molaire d'oxygène ($\text{O} = 16 \text{ g/mole}$)

$$M_{u_{3,8}} = 7,1143 \text{ tonnes}$$

Masse d' UO_2 dans chaque élément combustible :

$$m(\text{UO}_2) = \rho(\text{UO}_2) \cdot \pi \cdot r^2 \cdot H$$

r : Rayon d'un élément combustible ($r = 0,4095 \text{ cm}$)

$$H = 136,99 \text{ cm} \quad \& \quad \rho(\text{UO}_2) = 9,995 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{D'ou } m(\text{UO}_2) = 7,1989 \cdot 10^4 \text{ tonne}$$

Nombre total d'éléments combustibles dans le coeur :

$$N = \text{masse totale dans le coeur} [M(\text{UO}_2)] / \text{masse d'un élément combustible} [m(\text{UO}_2)]$$

$N=11242$ rayons combustibles

Donc pour un réacteur de puissance $P=100$ Mw th, nous avons .

$$x=2,1 \%$$

$$R=75,27 \text{ cm}$$

$$H=136,99 \text{ cm}$$

$$M(\text{UO}_2)=8,07101 \text{ tonnes}$$

$$M_{\text{U}_5}=0,1568 \text{ tonne d'U}_5$$

$$M_{\text{U}_{5,8}}=7,1143 \text{ tonne}$$

$$m(\text{UO}_2)=7,1989 \cdot 10^4 \text{ tonne}$$

$N=11242$ rayons combustibles

Pour un réacteur de 100 Mw th ----- volume du coeur ($V=243838,764 \text{ cm}^3$)

Pour un réacteur de 200 Mw th ----- volume du coeur ($V= ?$)

$$\text{D'ou } V=4876775,582 \text{ cm}^3$$

$$\text{Avec } V=\pi \cdot r^2 \cdot H \text{ et } H=1,82 \cdot R$$

$$R=94,84 \text{ cm}$$

$$H=172,60 \text{ cm}$$

En utilisant les memes formules que précédement :

Masse du dioxyde d'uranium $M(\text{UO}_2)$:

$$*M(\text{UO}_2)=\rho(\text{UO}_2) \cdot V_{\text{coeur}} \cdot (V_{\text{coeur}}/V_{\text{total}})^{0,142}$$

$$M(\text{UO}_2)= 16,1422 \text{ tonnes}$$

$$*M_{\text{U}_5}=M(\text{UO}_2) \cdot \frac{x}{100} \left(\frac{A(\text{U}_5)}{A(\text{U}_8)} \right)$$

La masse d'uranium 235 est :

$$M_{\text{U}_5}=0,2951 \text{ tonne}$$

La masse totale d'uranium 235 et 238 est :

$$M_{\text{U}_{5,8}}=M(\text{UO}_2) \cdot \frac{A(\text{U}_5) \cdot x + A(\text{U}_8) \cdot (100-x)/100}{A(\text{U}_5) \cdot x + A(\text{U}_8) \cdot (100-x)/100 + 2 \cdot A(\text{O})}$$

$$M_{\text{U}_{5,8}}=14,2286 \text{ tonnes}$$

$$*m(\text{UO}_2)=\rho(\text{UO}_2) \cdot \pi \cdot r^2 \cdot H$$

Masse d' UO_2 dans chaque élément combustible :

$$m(\text{UO}_2) = 9,07 \cdot 10^{-4} \text{ tonne}$$

Nombre total d'éléments combustibles dans le cœur :

$$*N = \text{masse totale dans le cœur} [M(\text{UO}_2)] / \text{masse d'un élément combustible} [m(\text{UO}_2)]$$

$$N = 17798 \text{ crayons combustibles}$$

Pour la suite du travail on exposera les résultats sous forme d'un tableau récapitulatif pour les 4 enrichissements par puissance .

Puissance Mwth	P=100 Mw				P=200 Mw			
	2,1%	2,6%	2,8%	3,2%	2,1%	2,6%	2,8%	3,2%
x %	2,1%	2,6%	2,8%	3,2%	2,1%	2,6%	2,8%	3,2%
Mu _s Tonne	0,157	0,1267	0,1177	0,1029	0,2952	0,2384	0,2351	0,2059
Mu _o Tonne	8,0711	5,2650	4,2535	3,2564	16,1422	10,5120	8,5070	6,5130
mu _o · 10 ⁻⁴ Tonne	7,1990.10	6,2434	5,149	5,3195	9,0710	10,510	7,3263	6,7023
R cm	75,2709	65,28023	60,7998	55,6205	94,8354	82,2480	76,6029	70,0774
H cm	136,9906	118,8101	110,6556	101,2293	172,6004	149,6913	139,4174	127,5409
N crayons	11212	8433	7315	6122	17798	13387	11611	9726

TABLEAU RECAPITULATIF

II-12 -ETUDE DU COEUR REFLECHI :

Dans la partie précédente , on avait calculé les dimensions du coeur nu , mais en pratique , on est toujours appelés a utiliser un réflecteur pour diminuer les fuites de neutrons hors du coeur .

La diminution de ces fuites a le double avantage de réduire la masse d'isotope fissile nécessaire pour la criticite et permet d'obtenir une distribution de flux (donc de puissance) plus uniforme .

Généralement, on utilise comme réflecteur le meme materiau adopté comme modérateur .

L'étude du coeur réfléchi nécessite la résolution des équations de la diffusion dans le milieu multiplicateur ainsi que dans le milieu réflecteur , cependant , le développement mathématique pour l'obtention de ces équations etant tres long et ne faisant partie du but qu'on s'est assigné dans ce projet , on exposera uniquement le système d'équation final a résoudre pour obtenir la criticite .

Ce systeme d'équation est :

$$*A.J_0(1.R_1)+C.I_0(m.R_1)+G.\{[K_0(\mu_s.R_1).I_0(\mu_s.R_1)/I_0(\mu_s.R_2)] -K_0(\mu_s.R_1)\}+$$

$$M.\{[K_0(\mu_f.R_2).I_0(\mu_f.R_2)/I_0(\mu_f.R_1)] -K_0(\mu_f.R_1)\}=0$$

$$*A.S_1.J_0.I_0(m.R_1)+C.S_1'.I_0(m.R_1)+S_2'.M.\{[K_0(\mu_f.R_2).I_0(\mu_f.R_2)/I_0(\mu_f.R_1)] -K_0(\mu_f.R_1)\}=0$$

$$*D_{1s}.A.I_1(1.R_1)-D_{1s}.C.m.I_1(m.R_1)-D_{2s}.\mu_s.G.\{[K_0(\mu_s.R_2).I_1(\mu_s.R_1)/I_0(\mu_s.R_2)] -K_1(\mu_s.R_1)\}-$$

$$D_{2s}.\mu_f.M.\{[K_0(\mu_f.R_2).I_1(\mu_f.R_1)/I_0(\mu_f.R_2)] -K_1(\mu_f.R_1)\}=0$$

$$*D_{1f}.A.S_1.I_1(1.R_1)-D_{1f}.C.S_1'.m.I_1(m.R_1)-S_2'.D_{2f}.\mu_f.M.\{[K_0(\mu_f.R_2).I_1(\mu_f.R_1)/I_0(\mu_f.R_2)] +K_1(\mu_f.R_1)\}=0$$

REMARQUE :

dans ce systeme d'équation , les variables se rapportant au coeur et au re flecteur sont indiceés 1 et 2 , respectivement .

Ce systeme d'équation etant de la forme :

$$K_{11}.A + K_{12}.C + K_{13}.G + K_{14}.M=0$$

$$K_{21}.A + K_{22}.C + K_{23}.G + K_{24}.M=0$$

$$K_{31}.A + K_{32}.C + K_{33}.G + K_{34}.M=0$$

$$K_{41}.A + K_{42}.C + K_{43}.G + K_{44}.M=0$$

Il n'admet de solution non triviale pour A,C,G et M que si son déterminant est nul .

$$D = \begin{bmatrix} K_{11} + K_{12} + K_{13} + K_{14} \\ K_{21} + K_{22} + K_{23} + K_{24} \\ K_{31} + K_{32} + K_{33} + K_{34} \\ K_{41} + K_{42} + K_{43} + K_{44} \end{bmatrix} = 0$$

Physiquement, la condition précédente ($D=0$) traduit la condition de criticité.

Définition des différents paramètres intervenant dans le système d'équation précédent :

* D_s : coefficient de diffusion des neutrons thermiques .

* D_f : Coefficient de diffusion des neutrons rapides .

* K_∞ : Facteur de multiplication infini du coeur .

* B_1^2 : "Laplacien matière" fondamental" du coeur .

$$B_1^2 = \frac{-(x_{1f}^2 + x_{1s}^2) + [(x_{1f}^2 + x_{1s}^2)^2 + 4 \cdot x_{1f}^2 \cdot x_{1s}^2 \cdot (K_\infty - 1)]^{1/2}}{2}$$

* $B_1'^2$: "Laplacien matière" transitoir" du coeur .

$$B_1'^2 = \frac{-(x_{1f}^2 + x_{1s}^2) + [(x_{1f}^2 + x_{1s}^2)^2 + 4 \cdot x_{1f}^2 \cdot x_{1s}^2 \cdot (K_\infty - 1)]^{1/2}}{2}$$

Avec

$x_s^2 = 1/L_s^2$ inverse de l'aire de diffusion des neutrons thermiques.

$x_f^2 = 1/L_f^2$ inverse de l'aire de ralentissement des neutrons rapides .

$$*\mu_s = [x_s^2 + (2,405/R)^2]^{1/2}$$

$$*\mu_f = [x_f^2 + (2,405/R)^2]^{1/2}$$

$$*l = [B_1^2 + (2,405/R)^2]^{1/2}$$

$$*m = [-B_1'^2 + (2,405/R)^2]^{1/2}$$

* S : Coefficient de couplage entre neutrons rapides et thermique .

Dans le coeur :

$$S = (\Sigma_s + D_s \cdot B_1^2) / \Sigma_f$$

$$S' = (\Sigma_s + D_s \cdot B_1'^2) / \Sigma_f$$

Dans le réflecteur :

$$S = 0$$

$$S' = (\Sigma_s + D_s \cdot x_f^2) / \Sigma_f$$

Pour la suite de cette partie, il est nécessaire de définir le gain réflecteur .

Soit un reacteur réfléchi , critique ,dont le coeur a les dimensions a , b et c dans un système de coordonnées (α , β, γ) .

On enlève le réflecteur de la direction α et on détermine de combien le coeur nu doit être étendu dans cette direction pour redevenir critique .

Soit a' la nouvelle dimension du coeur critique nu , alors le gain réflecteur sera :

$$\delta = a' - a$$

La procédure que nous allons suivre dans cette étude est la suivante :

Etant donné que nous connaissons les dimensions du coeur nu ainsi que son K_{∞} ,on fera d'abord l'étude du coeur réfléchi radialement et nu axialement , pour cela , on fixe arbitrairement la valeur de K_{∞} et de δ (correspondante au coeur nu axialement et réfléchi radialement) .

On fera ensuite varier K_{∞} jusqu'à l'obtention de $K(0)$ qui annule le déterminant D, ce $K(0)$ et le K critique de ce coeur .

La connaissance de $K(0)$ nous permettra de calculer le rayon équivalent nu , d'où nous connaissons la vraie valeur du gain réflecteur δ .

Une fois le vrai δ connu , les dimensions du coeur réfléchi seront donnée par :

$$H(\text{réfléchi}) = H(\text{nu}) - 2\delta \quad \& \quad H(\text{nu}) = 172,60 \text{ cm}$$

$$R(\text{réfléchi}) = R(\text{nu}) - \delta \quad \& \quad R(\text{nu}) = 94,84 \text{ cm}$$

1^{er} ESSAI :

Soit un gain réflecteur $\delta = 55 \text{ cm}$.

Constantes du coeur

$$*K_{\infty} = 1,27$$

$$*R_1 = 39,8354 \text{ cm}$$

$$*D_{1s} = 0,16 \text{ cm}$$

$$*D_{1f} = 0,5799 \text{ cm}$$

$$*l_{1s}^2 = 0,8324 \text{ cm}^2$$

$$*l_{1f}^2 = 35,2564 \text{ cm}^2$$

$$*x_{1s}^2 = 1,2014 \text{ cm}^2$$

$$*x_{1f}^2 = 2,8363 \cdot 10^2 \text{ cm}^2$$

$$*\Sigma_{1s} = 0,1922 \text{ cm}^{-s}$$

$$*\Sigma_{1f} = 1,6448 \cdot 10^2 \text{ cm}^{-s}$$

Constante du réflecteur

$$* R_2 = 100 \text{ cm}$$

$$* D_{2s} = 0,16 \text{ cm}$$

$$* D_{2f} = 0,5799 \text{ cm}$$

$$* l_{2s}^2 = 8,1225 \text{ cm}^2$$

$$* l_{2f}^2 = 35,2564 \text{ cm}^2$$

$$* x_{2s}^2 = 0,1231 \text{ cm}^2$$

$$* x_{2f}^2 = 2,8364 \cdot 10^2 \text{ cm}^2$$

$$* \Sigma_{2s} = 1,9698 \cdot 10^2 \text{ cm}^{-s}$$

$$* \Sigma_{2f} = 1,6448 \cdot 10^2 \text{ cm}^{-s}$$

- * $B_1^2 = 0,5245$
- * $B_1'^2 = -1,2372$
- * $P^2 = 0,5242$
- * $l = 0,7240$
- * $-m^2 = -1,2375$
- * $m = 1,1124$
- * $S_1 = 16,7889$
- * $S_1' = -0,3483$
- * $l.R_1 = 28,8417 \text{ cm}$
- * $m.R_1 = 44,3135 \text{ cm}$

- * $B_2^2 = -x_{23}^2 = -0,1231$
- * $B_2'^2 = -x_{2f}^2 = -2,8364 \cdot 10^{-2}$
- * $-\mu_2^2 = -0,1234$
- * $\mu_2 = 0,5313$
- * $-\mu_f^2 = -2,8632 \cdot 10^{-2}$
- * $-\mu_f = 0,1692$
- * $S_2' = 0,9217$
- * $\mu_{1.R_1} = 13,9926 \text{ cm}$
- * $\mu_{f.R_1} = 6,7405 \text{ cm}$
- * $\mu_{1.R_2} = 35,126 \text{ cm}$
- * $\mu_{f.R_2} = 16,921 \text{ cm}$

	L.R ₁ = 28,8417	m.R ₁ = 44,3135	$\mu_{1.R_1}$ = 13,9926	$\mu_{f.R_1}$ = 6,7405	$\mu_{1.R_2}$ = 35,1260	$\mu_{f.R_2}$ = 16,9210
J ₀	-0,1449					
K ₀			$2,7817 \cdot 10^{-7}$	$5,6082 \cdot 10^{-4}$	$1,1713 \cdot 10^{-16}$	$1,3550 \cdot 10^{-8}$
L ₀		$1,0568 \cdot 10^{18}$	$1,2845 \cdot 10^5$	132,649	$1,2153 \cdot 10^{14}$	$2,1807 \cdot 10^6$
J ₁	0,0304					
K ₁			$2,8820 \cdot 10^{-7}$	$6,0106 \cdot 10^{-4}$		
		$1,0449 \cdot 10^{18}$	$1,2390 \cdot 10^5$	122,37		

Le determinant D sera donc :

$$D = \begin{bmatrix} -0,1449 & 1,0568.10^{18} & -2,7817.10^{-7} & -5,6082.10^{-4} \\ -2,4324 & -3,6806.10^{17} & 0 & -5,1691.10^{-4} \\ 3,5168.10^{-3} & -1,8598.10^{17} & -1,6197.10^{-8} & -1,0824.10^{-6} \\ 5,3476.10^{-1} & 3,5397.10^{24} & 0 & -3,6158.10^{-6} \end{bmatrix}$$

$$D = -6,9534.10^{13}$$

2^{ème} ESSAI :

$$K_0 = 1,05$$

Il est a noter qu'en changeant la valeur de K_0 seules les deux premières colonnes du déterminant D doivent être recalculées .

$$B_1^2 = 1,3839.10^{-3}$$

$$B_1'^2 = -1,2312$$

$$S_1 = 11,7004$$

$$S_1' = -0,2894$$

$$l^2 = B_1^2 - 2,6835.10^{-4} = 1,1156.10^{-3} \text{ d'ou } l = 3,34.10^{-2}$$

$$-m^2 = B_1'^2 - 2,6835.10^{-4} = -1,2314 \text{ d'ou } m = 1,1097$$

$$lR_1 = 1,3305 \quad \text{et} \quad mR_1 = 44,2051$$

	$l.R_1 = 1,3305$	$m.R_1 = 44,2050$
J_0	0,6041	
I_0		$9,4933.10^{17}$
J_1	0,5285	
I_1		$9,3862.10^{17}$

le déterminant a calculer sera donc :

$$D = \begin{bmatrix} 0,6041 & 9,4933.10^{17} & -2,7817.10^7 & -5,6082.10^{-4} \\ 7,0678 & -2,7474.10^{17} & 0 & -5,1691.10^{-4} \\ 2,8244.10^3 & -1,6665.10^{17} & -1,6197.10^8 & -1,082.10^{-6} \\ 1,1977.10^{-1} & 1,7480.10^{17} & 0 & 3,6158.10^{-6} \end{bmatrix}$$

$$D = 1,2562.10^7$$

Par interpolation linéaire, on trouve $K(0)$ qui annule le déterminant D .

$$K(0) = 1,05000004$$

Le laplacien matière du coeur nu axialement et réfléchi radialement est :

$$B^2 = \frac{-(x_{ir}^2 + x_{is}^2) + [(x_{ir}^2 + x_{is}^2)^2 + 4.x_{ir}^2.x_{is}^2.(K(0)-1)]^{1/2}}{2}$$

$$B^2 = 1,3839.10^{-3}$$

$$\text{laplacien matière radial} = 1,3839.10^{-3} - 2,6835.10^{-4} = 1,1156.10^{-3}$$

d'où le rayon nu équivalent :

$$R_{eq} = 2,405 / (1,1156.10^{-3})^{1/2} = 72 \text{ cm}$$

la valeur du gain réflecteur sera donc :

$$\delta = 72 - 39,8354 = 32,17 \text{ cm}$$

Etant donné que nous avons les dimensions du coeur nu, on en déduit les dimensions du coeur réfléchi :

$$R = R(\text{nu}) - \delta = 62,67 \text{ cm}$$

$$H = H(\text{nu}) - 2.\delta = 140,43 \text{ cm}$$

la valeur du facteur de multiplication du coeur réfléchi est :

$$K(\text{crit}) = (1 + B^2/x_{ir}^2)(1 + B^2/x_{is}^2), B^2 \text{ étant donné par le code WIMS-D4}$$

$$B^2 = 7,24115.10^{-3}$$

$$K(\text{crit}) = 1,2629 \text{ (cette valeur du facteur de multiplication est celle du coeur réfléchi)}$$

La réactivité du coeur réfléchi est donnée par :

$$\delta K_{eff}/K_{eff} = [K_0(\text{coeur nu}) - K(\text{crit})] / K_0(\text{coeur nu})$$

$$\delta K_{eff}/K_{eff} = (1,300756 - 1,2629) / 1,300756 = 0,029132$$

$$\delta K_{eff}/K_{eff} = 2913 \text{ pcm}$$

II-12-1-CALCUL DE LA MASSE ET DU NOMBRE D'ELEMENTS COMBUSTIBLES DANS LE COEUR REFLECHI :

$$\text{volume du coeur réfléchi} = V = \pi.R^2.H$$

$$V = \pi.(62,665)^2.140,43 = 1732448,954 \text{ cm}^3$$

MASSE D'UO₂ :

$$M(\text{UO}_2) = \rho(\text{UO}_2).V_{\text{coeur}}(V_{\text{comby}}/V_{\text{total}})_{\text{cible}}$$

$$M(\text{UO}_2) = 10,5.0,95.1732448,954.(0,5268/1,5876).10^{-6} = 5,7344 \text{ tonnes}$$

MASSE D'u₅:

$$Mu_5 = M(\text{UO}_2).2,1.235/(100.269,937) = 0,1048 \text{ tonnes}$$

MASSE D'UO₂ DANS UN ELEMENT COMBUSTIBLE :

$$m(\text{UO}_2) = \rho(\text{UO}_2).\pi.r^2.H$$

$$m(\text{UO}_2) = 10,5.0,95.\pi.(0,4095)^2.140,43.10^{-6} = 3,3796.10^{-4} \text{ tonnes}$$

NOMBRE D'ELEMENTS COMBUSTIBLE :

$$N = M(\text{UO}_2)/m(\text{UO}_2) = 7771 \text{ crayons .}$$

Si on choisit un assemblage de type 7.7 , on aura 159 assemblages , ce qui fait qu'en fin de compte , on aura N = 7791 crayons combustibles .

CHAPITRE III

***ETUDE
THERMOHYDRAULIQUE***

Pour assurer a un réacteur nucleaire un fonctionnement en régime établi avec une distribution de température independante du temps , il faut que l'énergie produite soit évacuée aussi rapidement qu'elle est generée , ceci est accompli dans tous les réacteurs (sauf pour ceux opérants a très basse puissance) en faisant passer un fluide de refroidissement dans le coeur du réacteur .

La nature de ce fluide et la configuration du système de refroidissement figurent parmi les considérations les plus importantes dans le design d'un réacteur nucleaire.

En général , la température dans un réacteur en fonctionnement varie d'un point a un autre , par conséquent, il y'a toujours un crayon combustible(figure 12 annexe1) (généralement , un de ceux qui se trouvent au voisinage du centre du réacteur) plus chaud que d'autres .

La température maximale du combustible est fonction de la puissance de fonctionnement , du système de refroidissement et de la nature du combustible , cependant des considérations technologiques nous imposent de ne jamais atteindre une certaine valeur maximale de température , au dessus de laquelle il y'a risque de fusion du combustible et rupture de gaine , ce qui conduit a la libérations des produits de fission .

En premier lieu , on verifera si le réacteur peut fonctionner en convection naturelle , pour cela , on fera les calculs pour un réacteur de type piscine , le coeur d'un réacteur de ce type est plongé au fond d'un grand bassin a ciel ouvert , la protection superieure etant assurée par un matelas d'eau de grande profondeur .

L'étude en convection naturelle revet un aspect sécuritaire , car dans le cas ou les pompes du circuit primaire fonctionnant en redondance tombent simultanément en panne , le réacteur est immédiatement mis al'arret et la seule alternative pour le dégagement de la chaleur residuelle est la convection naturelle.

En second lieu , on fera l'étude en convection forcee qui est le mode de refroidissement du réacteur fonctionnant a sa puissance nominale .

III-1- ETUDE EN CONVECTION NATURELLE :

III-1-1- DISTRIBUTION DE LA TEMPERATURE DANS L'ELEMENT COMBUSTIBLE :

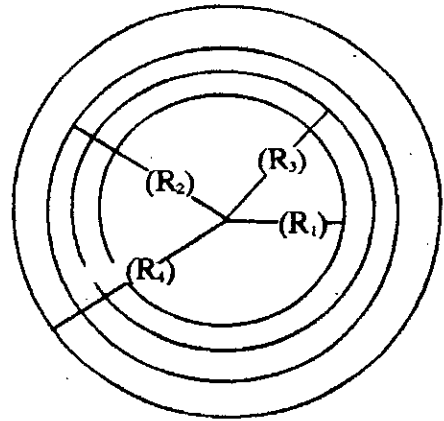
La distribution de la température dans l'élément combustible est donnée par la résolution de l'équation de la conduction en régime permanent .

R_1 : RAYON EXTERIEUR DU COMBUSTIBLE

R_2 : RAYON EXTERIEUR D'HELIUM

R_3 : RAYON EXTERIEUR DE LA GAINE

R_4 : RAYON EXTERIEUR DU MODERATEUR



La conductivite thermique des materiaux constituant l'élément combustible variants très peu avec la température , on fera l'hypothese qu'elle est constante .

$$\lambda \cdot \nabla T + P = 0 \quad (*)$$

P : puissance genérée par unite de volume dans le combustible

Résolution de l'équation (*) dans le combustible :

$$\frac{d^2T}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dT}{dr} + \frac{P}{\lambda_1} = 0$$

λ_1 : conductivite thermique du combustible

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{d}{dr} \left[r \cdot \frac{dT}{dr} \right] = - \frac{P}{\lambda_1}$$

apres integration , on trouve :

$$T(r) = - \frac{P}{4 \cdot \lambda_1} \cdot r^2 + C_1 \cdot \ln r + C_2$$

la température etant finie à $r = 0$, on deduit que $C_1 = 0$

au point $r = R_1$, nous avons $T(R_1) = T_1$, T_1 etant la température a la paroi extérieure du combustible .

$$C_2 = T_1 + \frac{P \cdot R_1^2}{4 \cdot \lambda_1}$$

$$T(r) = T_1 + \frac{P}{4 \cdot \lambda_1} (R_1^2 - r^2)$$

La chute de température dans le combustible est : $\Delta T_c = T(r=0) - T_1 = \frac{P R_1^2}{4 \cdot \lambda_1}$

III-1-2- DISTRIBUTION DE TEMPERATURE DANS L'HELIUM ET DANS LA GAINE EN ZIRCALLOY :

Du fait que l'hélium contenu entre le combustible et la gaine est sous pression , on considerera que l'adhérence entre ce fluide et les parois le contenant est bonne , ce qui fait qu'on peut negliger les

résistances de contact .

La génération de puissance étant nulle dans l'hélium , l'équation de la conduction se réduit à :

$$\lambda_2 \nabla T = 0$$

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{d}{dr} \left[r \cdot \frac{dT}{dr} \right] = 0$$

$$T(r) = C_1 \ln r + C_2$$

$$\text{Au point } R_2, \text{ nous avons } \phi = -\lambda_2 \frac{dT}{dr}$$

ϕ : flux de chaleur par unité de surface

λ_2 : conductivité thermique de l'hélium

$$\phi = -(\lambda_2/R_2) \cdot C_1 \text{ d'où } C_1 = -(R_2/\lambda_2) \cdot \phi$$

$$\text{au point } r = R_1, \text{ nous avons } T = T_1, \text{ d'où } C_2 = T_1 + \frac{R_2}{\lambda_2} \cdot \phi \cdot \ln R_1$$

$$T(r) = T_1 - \frac{R_2}{\lambda_2} \cdot \phi \cdot \ln \left[\frac{r}{R_1} \right]$$

la chute de température dans l'hélium est :

$$T_1 - T(R_2) = \frac{R_2}{\lambda_2} \cdot \phi \cdot \ln \left[\frac{R_2}{R_1} \right]$$

$$\Delta T_{He} = \frac{D_2}{2\lambda_2} \cdot \phi \cdot \ln \left[\frac{D_2}{D_1} \right]$$

La gaine présentant la même géométrie que la couche d'hélium et ne générant pas de puissance , on trouve :

$$T(r) = T_2 - \frac{R_3}{\lambda_3} \cdot \phi \cdot \ln \left[\frac{r}{R_2} \right]$$

λ_3 : conductivité thermique de la gaine en zircalloy

la chute de température dans la gaine sera donc :

$$\Delta T_g = \frac{D_3}{2\lambda_3} \cdot \phi \cdot \ln \left[\frac{D_3}{D_2} \right]$$

De ce qui précède , on déduit la chute globale de température dans le crayon combustible .

$$\Delta T_{tot} = P \cdot R_1^2 / 4 \cdot \lambda_1 + \phi \cdot [(D_2/2 \cdot \lambda_2) \cdot \ln(D_2/D_1) + (D_3/2 \cdot \lambda_3) \cdot \ln(D_3/D_2)]$$

APPLICATION NUMERIQUE :

Puissance globale = 200 MW

Puissance par barre = $200.10^6/7791 = 25670,646 \text{ W}$

$$\begin{aligned} \text{Puissance par unite de volume} &= \frac{P}{\pi.r^2.H} \\ &= 25670,646/(\pi.(0,4095)^2.140,43) = 346,992 \text{ W/cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Flux de chaleur par unité de surface} &= \phi = \frac{P}{2.\pi.r.H} \\ \phi &= 25670,646/(2.\pi.0,4095.140,43) = 71,047 \text{ W/cm}^2 \end{aligned}$$

Chute de température dans le combustible :

$$\lambda_1 = 3,35.10^{-2} \text{ W/cm.}^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_c = 346,992.(0,4095)^2/(4.3,35.10^{-2}) = 434,233 \text{ }^\circ\text{C}$$

Chute de température dans l'hélium :

$$\lambda_2 = 2,25.10^{-3} \text{ W/cm.}^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_H = (0,836/2.2,25.10^{-3}).71,047.\ln[0,836/0,819] = 271,269 \text{ }^\circ\text{C}$$

Chute de température dans la gaine :

$$\lambda_3 < 0,168 \text{ W/cm.}^\circ\text{C}, \text{ soit } \lambda_3 = 0,150 \text{ W/cm.}^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_g = (0,950/2.0,150).71,047.\ln[0,950/0,836] = 28,771 \text{ }^\circ\text{C}$$

La chute globale de température dans le crayon combustible, sera donc :

$$\Delta T_{\text{tot}} = 734,273 \text{ }^\circ\text{C}$$

III-1-3- ETUDE DES PERTES DE CHARGE:

La distribution des vitesses dans un canal cylindrique de section constante en régime laminaire établi est:

$$V(r) = \frac{1}{4.\mu} \cdot \frac{dp}{dz} (r^2 - R^2) \quad (*)$$

Notre canal n'étant pas de section constante et n'étant cylindrique qu'au pied de l'assemblage on peut toutefois considérer, sans grand risque d'erreur que les vitesses sont fonctions des sections respectives du fait que la relation (*) est en r^2 .

La géométrie d'évolution des sections du canal et leurs dimensions sont schématisées sur les figures (15, 16 et 17, annexe 1), on notera toutefois qu'on a volontairement omis d'exposer les détails des calculs des sections et des diamètres hydrauliques.

III-1-3-1- CALCUL DES VITESSES EN FONCTION DE LA VITESSE DANS LE CANAL PRINCIPAL(V_c) :

$$- V_1 = 49.(A_d/A_1).V_c$$

$$V_1 = 49.(78,878/5504,886)V_c = 0,782.V_c$$

$$- V_2 = 49.(A_d/A_2).V_c$$

$$V_2 = 49.(78,878/1324,12).V_c = 0,996.V_c$$

$$- V_3 = 49.(A_d/A_3).V_c$$

$$V_3 = 49.(87,878/8317,44).V_c = 0,518.V_c$$

$$- V_4 = (A_d/A_4).V_c$$

$$V_4 = (87,878.4/\pi.9,5^2) = 1,24.V_c$$

- V_5 est la vitesse qui regne dans le cone inferieur, il faudra donc definir une section moyenne pour ce cone.

$$V_5 = (A_d/A_{smoy}).V_c$$

$$V_5 = (87,878/70,182).V_c = 0,774.V_c$$

$$- V_6 = (A_d/A_6).V_c$$

$$A_6 = 12,6^2 - \pi.4^2/4 = 146,194 \text{ mm}^2$$

$$V_6 = (87,878/146,194).V_c = 0,601.V_c$$

$$- V_7 = (A_d/A_7).V_c$$

$$V_7 = 87,878.4/(\pi.9,5^2) = 1,24.V_c$$

III-1-3-2-CALCUL DES PERTES DE CHARGE:

1-Entree du pied:

$$\Delta H_1 = \zeta.V_1^2/2.g$$

du diagramme 3-1 de la referance[15], on tire $\zeta = 0,5$

$$\Delta H_1 = 0,5(0,782.V_c)^2/2.g$$

$$\Delta H_1 = 0,306.V_c^2/2.g$$

2-Dans l'orifice:

$$\Delta H_2 = f.L.V_1^2/(2.D_H.g)$$

Avec $f = 64/Re$ et $Re = V_1.D_H/\nu$

$$\Delta H_2 = 64.\nu.L.V_1/(2.D_H^2.g)$$

$$D_H = 83,72 \text{ mm et } L = 16 \text{ mm}$$

$$\Delta H_1 = 64 \cdot v \cdot 16 \cdot 10^{-3} \cdot V_1 / [2 \cdot g \cdot (83,72 \cdot 10^{-3})^2]$$

$$\Delta H_1 = 114,248 \cdot v \cdot V_1 / 2 \cdot g$$

3 - Entree partie basse:

$$\Delta H_3 = \zeta \cdot V_2^2 / 2 \cdot g$$

$$\zeta = \zeta' (1 - A_2 / A_1)$$

Du diagramme 3-1 de la reference [15], on tire $\zeta' = 0,5$

$$\zeta = 0,5 \cdot (1 - 74,2^2 / 83,72^2) = 0,107$$

$$\Delta H_3 = 0,107 \cdot (0,996 \cdot V_c)^2 / 2 \cdot g = 0,106 \cdot V_c^2 / 2 \cdot g$$

$$\Delta H_3 = 0,106 \cdot V_c^2 / 2 \cdot g$$

4 - Perte de charge le long du cylindre de diametre $\phi = 74,2 \text{ mm}$:

$$\Delta H_4 = f \cdot L \cdot V_2^2 / (2 \cdot g \cdot D_H)$$

$$f = 64 / \text{Re} = 64 \cdot v / (V_2 \cdot D_H)$$

$$\Delta H_4 = 64 \cdot v \cdot L \cdot V_2 / (2 \cdot g \cdot D_H^2)$$

$$\Delta H_4 = 1864,049 \cdot v \cdot V_2 / 2 \cdot g$$

5 - Perte de charge dans le cone:

$$\zeta = \Delta H_5 / [V_2^2 / (2 \cdot g)] = \zeta_{\text{elargissement}} + \zeta_{\text{frottement}}$$

D'apres le diagramme 5-3 de la reference [15], $\zeta_{\text{elargissement}} = f(\alpha, A_2 / A_3)$

$$\text{tg}(\alpha/2) = [2 \cdot (a_1 \cdot b_1 / \pi)^{1/2} - D_2] / 2 \cdot L_d$$

$$\text{tg}(\alpha/2) = [2 \cdot ((91,2 \cdot 10^3)^2 / \pi)^{1/2} - 74,2 \cdot 10^{-3}] / (2 \cdot 25 \cdot 10^{-3}) = 0,574$$

$$\text{D'ou } \alpha = 59,726^\circ$$

$$A_2 / A_3 = 0,520$$

Pour $\alpha = 59,726^\circ$ et $A_2 / A_3 = 0,520$ le graphe a du diagramme 5-3 de la reference [15] nous donne:

$$\zeta_{\text{elargissement}} = 0,270$$

$\zeta_{\text{frottement}}$ est donne par la relation:

$$\zeta_{\text{frottement}} = [f / 8 \cdot \sin(\alpha/2)] \cdot [1 - (A_2 / A_3)^2], \text{ avec } f = 64 / \text{Re} = 64 \cdot v / V_2 \cdot D_2$$

$$\zeta_{\text{frottement}} = [64 \cdot v / (8 \cdot V_2 \cdot D_2 \cdot \sin(\alpha/2))] \cdot [1 - (A_2 / A_3)^2]$$

$$\zeta_{\text{frottement}} = [64 \cdot v / (8 \cdot 0,996 \cdot V_c \cdot 74,2 \cdot 10^{-3} \cdot \sin(29,863))] \cdot [1 - \pi \cdot (74,2 \cdot 10^{-3})^2 / 4 \cdot (91,2 \cdot 10^3)^2]$$

$$\zeta_{\text{frottement}} = 158,642 \cdot v / V_c$$

$$\Delta H_5 = (V_2^2/2 \cdot g) \cdot (\zeta_{\text{frottement}} + \zeta_{\text{chargement}})$$

$$\Delta H_5 = 157,375 \cdot v \cdot V_d/2 \cdot g + 0,286 \cdot V_c^2/2 \cdot g$$

6 - Perte de charge dans la partie médiane :

$$\Delta H_6 = f \cdot L \cdot V_3^2 / (2 \cdot D_H \cdot g) = 64 \cdot v \cdot L \cdot V_3 / (2 \cdot D_H^2 \cdot g)$$

$$\text{Avec } L = 6 \cdot 10^{-3} \text{ m}, D_H = 4 \cdot (91,2 \cdot 10^{-3})^2 / (2 \cdot 91,2 \cdot 10^{-3}) = 0,182 \text{ m}$$

$$\Delta H_6 = 5,979 \cdot v \cdot V_d/2 \cdot g$$

7 - Perte de charge due au rétrécissement grille inférieure :

$$\Delta H_7 = \zeta \cdot V_4^2 / 2 \cdot g$$

$$\zeta = \zeta' \cdot (1 - A_4/A_3)$$

$$\zeta' = 0,5 \text{ du diagramme 3-1 de la reference [15]}$$

$$\zeta = 0,5 \cdot [1 - \pi \cdot (9,5 \cdot 10^{-3})^2 / 4 \cdot (91,2 \cdot 10^{-3})^2] = 0,496$$

$$\Delta H_7 = 0,496 \cdot (1,24 \cdot V_c)^2 / 2 \cdot g$$

$$\Delta H_7 = 0,762 \cdot V_c^2 / 2 \cdot g$$

8 - Perte de charge dans le canal de la grille inférieure :

$$\Delta H_8 = 64 \cdot L \cdot v \cdot V_4 / (2 \cdot D_H^2 \cdot g)$$

$$L = 20 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$D_H = 9,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\Delta H_8 = 17586,704 \cdot V_d/2 \cdot g$$

9 - Perte de charge par élargissement brusque a la sortie de la grille :

$$\Delta H_9 = \zeta \cdot V_4^2 / 2 \cdot g$$

$$\zeta = (1 - A_4/A_3)^2$$

$$A_4 = (9,5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot \pi / 4 = 7,088 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$A_3 = (12,6 \cdot 10^{-3})^2 - (5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot \pi / 4 = 1,391 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\zeta = 0,241$$

$$\Delta H_9 = 0,370 \cdot V_c^2 / 2 \cdot g$$

10 - Perte de charge dans le cone :

$$\Delta H_{10} = \zeta \cdot V_5^2 / 2 \cdot g$$

$$\zeta = \zeta_{\text{retrecissement}} + \zeta_{\text{frottement}}$$

$$\zeta_{\text{retrecissement}} = \zeta' \cdot [1 - A_c/A_3]$$

$$A_c = (12,6 \cdot 10^{-3})^2 - (9,5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot \pi / 4 = 8,788 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$A_s = (12,6 \cdot 10^{-3})^2 - (5 \cdot 10^{-3})^2 = 1,391 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\zeta' = f(\alpha, L/D), \text{ avec } L = 17,1 \cdot 10^{-3} \text{ m (longueur du cône)}$$

A_c et A_s étant connues, on détermine α

$$\text{tg}(\alpha/2) = 0,080, \text{ donc } \alpha = 9,133^\circ$$

Le cône étant de section variable, on pourra définir une section moyenne de diamètre

$$D = 12,021 \text{ mm.}$$

$$L/D = 1,422$$

$$\alpha = 9,133^\circ$$

$$\zeta' = 0,5$$

$$\zeta = 0,5 \cdot (1 - 8,788 \cdot 10^{-5}) / (1,391 \cdot 10^{-4}) = 0,184$$

$$\zeta_{\text{étrévisement}} = 0,184$$

$$\zeta_{\text{frottement}} = [f/8 \cdot \sin(\alpha/2)] \cdot [1 - (A_c/A_s)^2], \text{ avec } f = 64/Re = 64 \cdot v/V_s \cdot D$$

$$\zeta_{\text{frottement}} = [64 \cdot v / (8 \cdot 12,021 \cdot 10^{-3} \cdot 0,774 \cdot V_c \cdot \sin 4,567)] \cdot [1 - (8,788 \cdot 10^{-5} / 1,391 \cdot 10^{-4})^2]$$

$$\zeta_{\text{frottement}} = 6488,33 \cdot v/V_c$$

$$\Delta H_{10} = 3887,003 \cdot v \cdot V_c / 2 \cdot g + 0,110 \cdot V_c^2 / 2 \cdot g$$

11 - Perte de charge dans le canal principal :

$$\Delta H_{11} = f \cdot L \cdot V_c^2 / (2 \cdot D_H \cdot g) = 64 \cdot v \cdot L_c \cdot V_c / (2 \cdot D_H^2 \cdot g)$$

L_c longueur du canal principal

$$L_c = 140,43 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$D_H = 11,78 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\Delta H_{11} = 647663,301 \cdot v \cdot V_c / 2 \cdot g$$

12 - Perte de charge dans le cône précédant la grille supérieure :

$$\Delta H_{12} = \zeta \cdot V_c^2 / 2 \cdot g = (\zeta_{\text{élargissement}} + \zeta_{\text{frottement}}) \cdot V_c^2 / 2 \cdot g$$

a) - Par élargissement brusque :

$$\zeta_{\text{élargissement}} = \phi_{\text{élargissement}} \cdot (1 - A_c/A_0)^2$$

$$\phi_{\text{élargissement}} = 3,2 \cdot [\text{tg}(\alpha/2)]^{3/4}$$

$$A_c = 8,788 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$A_0 = (12,6 \cdot 10^{-3})^2 - (4 \cdot 10^{-3})^2 \cdot \pi / 4 = 1,462 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

La longueur du cone est $L=6.10^3$ m

A_c et A_6 etant connues , on peut donc determiner α

$$\operatorname{tg}(\alpha/2)=0,255 \text{ , ce qui donne } \alpha=28,661^\circ$$

$$\phi_{\text{elargissement}} \approx 0,581$$

$$\zeta_{\text{elargissement}} = 0,581.(1-8,788 \cdot 10^3/1,462 \cdot 10^4)^2=0,092$$

b)Par frottement :

$$\zeta_{\text{frottement}}=[f/8.\sin(\alpha/2)] \cdot [1-(A_c/A_6)^2]$$

$$\zeta_{\text{frottement}}=[64.v/8.V_c.D_H.\sin(\alpha/2)] \cdot [1-(A_c/A_6)^2]$$

$$\zeta_{\text{frottement}}=[64.v/8.11,78.10^3.V_c.\sin(14,33)] \cdot [1-(8,788.10^3/1,462.10^4)^2]$$

$$\zeta_{\text{frottement}}=1752,292.v/V_c$$

$$\Delta H_{12}=1752,292.v.V_c/2.g + 0,092.V_c^2/2.g$$

13 - Perte de charge dans la section de longueur 2.10^3 m précédant la grille supérieure :

$$\Delta H_{13}=f.L.V_6^2/(2.D_H.g)=64.v.L.V_c/(2.D_H^2.g)$$

$$L=2.10^3 \text{ m}$$

$$V_6=0,601.V_c$$

$$D_H=4.[(12,6.10^3)^2-(4.10^3)^2.\pi/4]/(\pi.4.10^3)=4,653.10^2 \text{ m}$$

$$\Delta H_{13}=35,524.v.V_c/2.g$$

14 - Perte de charge due au retrecissement a l'entree du canal de la grille supérieure :

$$\Delta H_{14}=\zeta.V_7^2/2.g$$

$$\zeta = \zeta' \cdot [1-A_7/A_6]$$

Du diagramme 3-1 de la referance [15],on tire $\zeta'=0,5$

$$A_6=(12,6.10^3)^2-(4.10^3)^2.\pi/4$$

$$A_7=(9,5.10^3)^2.\pi/4$$

$$\zeta=0,258$$

$$\Delta H_{14}=0,386.V_c^2/2.g$$

15 - Perte de charge dans le canal de la grille supérieure :

$$\Delta H_{15}=64.L.v.V_7/(2.D_H^2.g)$$

$$L=15.10^3 \text{ m}$$

$$D_H=9,5.10^3 \text{ m}$$

$$\Delta H_{15} = 13190,028 \cdot v \cdot V_c / 2 \cdot g$$

16 - Perte de charge par élargissement brusque a la sortie de la grille supérieure :

$$\Delta H_{16} = \zeta \cdot V_7^2 / 2 \cdot g$$

$$\zeta = (1 - A_7 / A_8)^2$$

$$\zeta = [1 - \pi \cdot (9,5 \cdot 10^{-3})^2 / 4 \cdot (91,2 \cdot 10^{-3})^2]^2 = 0,983$$

$$\Delta H_{16} = 1,512 \cdot V_c^2 / 2 \cdot g$$

Perte de charge totale : c'est la somme de toutes les pertes de charge calculées ci-dessus

$$\Delta H_T = \sum \Delta H_i, i=1,16$$

$$\Delta H_T = 686256,502 \cdot v \cdot V_c / 2 \cdot g + 3,922 \cdot V_c^2 / 2 \cdot g$$

III-1-4- CALCUL DE LA TEMPERATURE ET DE LA VITESSE DE L'EAU A LA SORTIE DE L'ÉLÉMENT COMBUSTIBLE - TEMPERATURE DE GAINÉ :

En convection naturelle , la pression ascensionnelle est proportionnelle a la difference de température entre l'entree et la sortie du canal (ΔT).

$$P_a = f(\Delta T)$$

En régime permanent , la pression ascensionnelle est équilibrée par les pertes de charge

$$P_a = \Delta H_T = f(V_c)$$

III-1-4-1- CALCUL DE LA PRESSION ASCENSIONNELLE :

Dans la partie neutronique , on avait établi la loi de repartition du flux , et étant donné que la puissance suit la même loi de variation , on aura donc :

$$P = P_{max} \cdot J_0(2,405 \cdot r/R) \cdot \cos(\pi \cdot z/L')$$

R' et L' : rayon et longueur extrapolés .

On considèrera d'abord la répartition axiale de la puissance du coeur sans réflecteur :

$$P = P_{max} \cdot \cos(\pi \cdot z/L') = P_{max} \cdot \cos(2 \cdot \gamma \cdot z/L)$$

loi de répartition axiale du flux de chaleur :

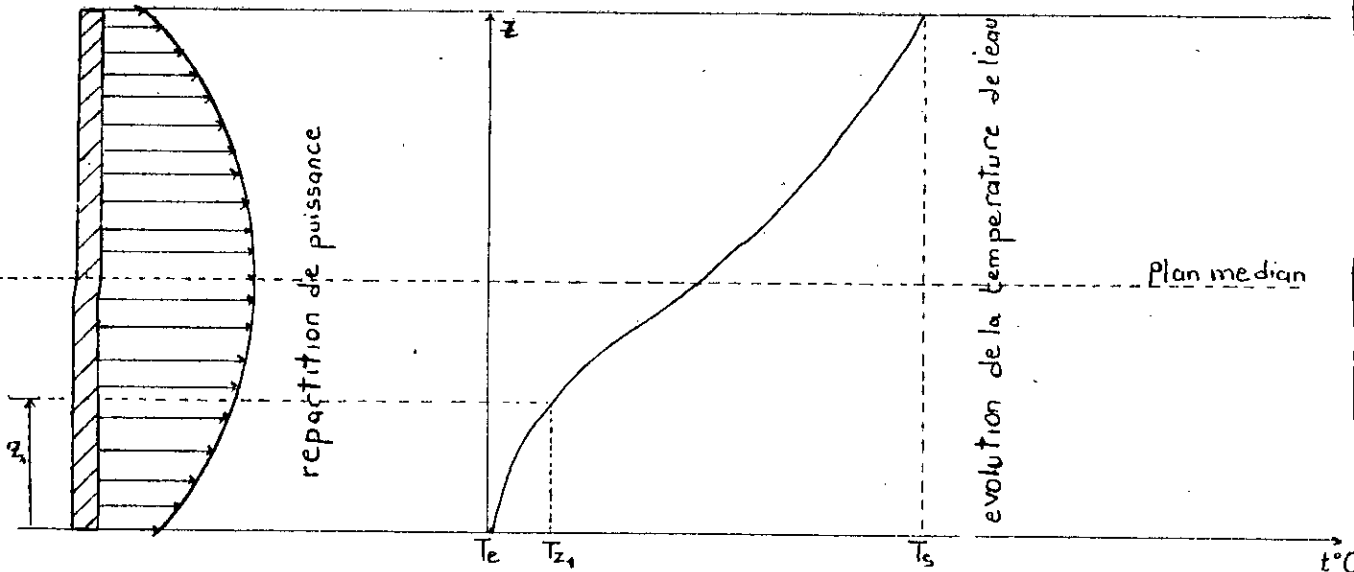
$$\phi = \phi_0 \cdot \cos(2 \cdot \gamma \cdot z/L) ; \text{ avec } \gamma = \pi \cdot L / 2 \cdot L'$$

Le bilan énergétique a l'abscisse z du canal s'écrit :

$$q \cdot c \cdot [T(z) - T_0] = \int_{1/2}^z \phi_0 \cdot \cos(2 \cdot \gamma \cdot z/L) dz$$

$$q \cdot c \cdot [T(z) - T_0] = [\sin \gamma + \sin(2 \cdot \gamma \cdot z/L)] \cdot L \cdot \phi_0 / 2 \cdot \gamma$$

$\Delta T = \frac{\phi_0 L \sin \gamma}{\gamma \cdot q \cdot c}$, represente l'echauffement total du fluide



L'allure de la courbe donnant l'évolution de la température de l'eau nous permet de faire l'hypothese que cette évolution est lineaire entre l'entrée et la sortie du canal , d'ou

$$T(z) = T_e + b \cdot z \quad (**)$$

la pression ascensionnelle sera alors égale a :

$$P_s = \beta \cdot \int_0^L [T(z) - T_e] \cdot dz \quad (***)$$

β étant le coefficient de dilatation cubique de l'eau

$$\beta = 0,34 \cdot 10^{-3} \text{ g/cm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$$

en remplaçant (**) dans (***) , on obtient

$$P_s = \beta \cdot \int_0^L b \cdot z \cdot dz$$

a la cote $z = L$, $T(z=L) = T_s$, l'équation (**) nous permet donc de definir la constante b

$$b = (T_s - T_e) / L = \Delta T / L \text{ , d'ou}$$

$$P_s = \beta \cdot \int_0^L \frac{\Delta T z}{L} \cdot dz = \frac{\beta \cdot L \cdot \Delta T}{2}$$

$$L = 140,43 \text{ cm}$$

$$P_s = 2,387 \cdot 10^{-2} \cdot \Delta T$$

III-1-4-2- BILAN THERMIQUE DU CANAL :

La variation d'énergie dans un élément de volume dV pendant un laps de temps dt est :

$$P = dt \int \int \left\{ \rho \cdot c \cdot \frac{\partial T}{\partial t} dV \right. , \text{ d'ou nous tirons :}$$

$$P = \rho \cdot c \cdot Q \cdot \Delta T$$

P : puissance en watts

ρ : masse volumique de l'eau [g/cm³]

c : chaleur specifique de l'eau [J/g.°C]

Q : debit volumique [cm³/s]

de plus , $Q = A_c \cdot V_c$, A_c section du canal principal

$$P = \rho \cdot c \cdot A_c \cdot V_c \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = P / (\rho \cdot c \cdot A_c \cdot V_c)$$

$$\rho = 0,898 \text{ g/cm}^3$$

$$c = 4,373 \text{ J/g.}^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = [1 / (0,898 \cdot 4,373 \cdot 0,879)] \cdot P / V_c$$

$$\Delta T = 0,2898 \cdot P / V_c \quad (A)$$

La perte de charge totale est donnee par :

$$\Delta H_T = 5,586 \cdot 10^{-3} \cdot V_c + 1,999 \cdot 10^{-3} \cdot V_c^2 \quad (B)$$

Dans l'equation (B) , ΔH_T est exprimee en cm.c.e avec V_c en cm/s

A l'equilibre , la pression ascensionnelle est egale a la perte de charge totale

$$P_s = \Delta H_T$$

$$2,387 \cdot 10^{-2} \cdot \Delta T = 5,586 \cdot 10^{-3} \cdot V_c + 1,999 \cdot 10^{-3} \cdot V_c^2 , \text{ d'ou nous tirons}$$

$$\Delta T = 0,234 \cdot V_c + 8,375 \cdot 10^{-2} \cdot V_c^2 \quad (C)$$

Le point de fonctionnement du reacteur est donne en egalissant les deux equations (A) et (C) , en ce point , nous avons :

$$0,2898 \cdot P / V_c = 0,234 \cdot V_c + 8,375 \cdot 10^{-2} \cdot V_c^2$$

P : puissance par canal

$$P = 200 \cdot 10^6 / 7791 = 25670,654 \text{ W} , \text{ d'ou nous obtenons l'equation}$$

$$8,375 \cdot 10^{-2} \cdot V_c^3 + 0,234 \cdot V_c^2 - 7439,353 = 0$$

cette equation admet deux racines imaginaires et une reelle .

$$V_c = 43,71 \text{ cm/s}$$

$$\Delta T = 0,2898P/V_c$$

$$\Delta T = 0,2898.25670,654/43,71 = 170,20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

-CALCUL DU NOMBRE DE REYNOLDS :

$$Re = V.D_M/v$$

$$v = 0,181.10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Re = 43,71.1,178/0,181.10^{-2} = 2,844.10^4$$

III-1-4-3- DISTRIBUTION AXIALE DU FLUX DE CHALEUR :

Le flux thermique dégagé suivant z est donné par :

$$\phi = \phi_0 \cdot \cos(2 \cdot \gamma \cdot z/L)$$

Le flux thermique moyen par unite de longueur du canal est :

$$\phi_m = \frac{1}{L} \int_{-L/2}^{L/2} \phi \cdot dz = \frac{1}{L} \int_{-L/2}^{L/2} \phi_0 \cdot \cos(2 \cdot \gamma \cdot z/L) dz$$

$$\phi_m = \phi_0 \cdot \text{siny}/\gamma$$

le flux thermique total dans le canal sera donc :

$$\phi = \phi_m \cdot L = \phi_0 \cdot L \cdot \text{siny}/\gamma$$

Le flux thermique total dans le canal sera donc :

$$\phi = \phi_m \cdot L$$

$$\phi = \phi_0 \cdot L \cdot \text{siny}/\gamma$$

-PIC DE PUISSANCE :

a)En distribution radiale :

le facteur radial global est :

F_r = élévation moyenne d'enthalpie du canal chaud/élévation moyenne d'enthalpie du canal moyen .

F_r est le produit de plusieurs sous facteurs .

*facteur radial : f_r = flux moyen canal chaud/flux moyen canal moyen = 1,30

*facteur technologique f_{t1} : il tient compte du fait qu'il est technologiquement impossible d'obtenir des éléments combustibles ayants tous le meme enrichissement .

$$f_{t1} = 1,025$$

*facteur de defaut géométrique : il tient compte des défauts de fabrication (petites variations des dimensions de la gaine et des pastilles formants le crayon combustible)

$$f_2 = 1,06$$

*facteur de debit f_q : Ce facteur tient compte du fait que le débit du fluide caloporteur n'est pas également réparti entre les différents canaux , ceci est du aux incertitudes de fabrication des grilles ainsi qu'au gonflement de certains crayons combustibles.

$$f_q = 1,07, \text{ d'ou}$$

$$F_r = 1,30.1,025.1,06.1,07 = 1,511$$

b) En distribution axiale :

F_r = flux maximal d'un canal/flux moyen d'un canal

Nous avons déjà établi l'expression $\phi_m = \phi_0 \cdot \sin\gamma/\gamma$

$$F_r = \phi_0/\phi_m = \gamma/\sin\gamma$$

$$\gamma = \pi.L/(2.L') \quad \& \quad L/L' \approx 0,9$$

$$\gamma = 1,414, \text{ d'ou nous tirons } F_r = 1,431$$

c) Facteur du point chaud :

$$F_q = F_r.F_r = 1,511.1,431 = 2,162$$

étant donne que $\phi = \phi_m.L$, nous tirons

$$\phi_m = \phi.F/L$$

$$\phi_m = 25670,646.1,511/140,43 = 276,211 \text{ W/cm}$$

d'autre part, nous avons : $F_r = \phi_0/\phi_m$ ce qui donne $\phi_0 = \phi_m.F_r$

$$\phi_0 = 276,211.1,431 = 395,258 \text{ W/cm}$$

$$\text{donc : } \phi = 395,258 \cdot \cos(2.1,414.z/140,43)$$

$$\phi = 395,258 \cdot \cos(2,01.10^{-2}.z)$$

III-1-4-4- TEMPERATURE DU FLUIDE CALOPORTEUR :

Pour une longueur dz du canal, nous avons :

$$\rho.Q.c.dT = \phi_0 \cdot \cos(2.\gamma.z/L).dz \quad (D)$$

l'intégration de cette équation entre $-L/2$ et z donne :

$$\rho.Q.c[T(z) - T_s] = \frac{\phi_0.L}{2.\gamma} [\sin\gamma + \sin(2.\gamma.z/L)]$$

$$T(z) - T_s = \frac{\phi_0.L.\sin\gamma}{2.\gamma.\rho.Q.c} + \frac{\phi_0.L.\sin(2.\gamma.z/L)}{2.\gamma.\rho.Q.c} \quad (E)$$

l'intégration de l'équation (D) sur toute la longueur du canal donne :

$$\rho \cdot Q \cdot c \cdot \Delta T = \phi_0 \cdot L \cdot \sin \gamma / \gamma \quad \& \quad \Delta T = T_s - T_e$$

$$\phi_0 / \rho \cdot Q \cdot c = \Delta T \cdot \gamma / L \cdot \sin \gamma \quad (F)$$

en remplaçant (F) dans (E), on obtient :

$$T(z) - T_e = \frac{\Delta T}{2} + \frac{\Delta T \cdot \sin(2 \cdot \gamma \cdot z / L)}{2 \cdot \sin \gamma}, \text{ finalement, nous obtenons :}$$

$$T(z) = \frac{T_s + T_e}{2} + \frac{\Delta T \cdot \sin(2 \cdot \gamma \cdot z / L)}{2 \cdot \sin \gamma}$$

Nous avons déjà calculé $\Delta T = 170,20 \text{ }^\circ\text{C}$, si on considère que la température d'entrée de l'eau est de $170 \text{ }^\circ\text{C}$, on aura :

$$T(z) = 255,1 + 86 \cdot \sin(2,01 \cdot 10^{-2} \cdot z)$$

III-1-4-5- TEMPERATURE DE GAINE :

La différence de température entre le fluide et la gaine en un point z est donnée par :

$$T_g(z) - T(z) = \frac{\phi(z)}{P_c \cdot h} = \frac{\phi_0 \cdot \cos(2 \cdot \gamma \cdot z / L)}{P_c \cdot h}$$

h : coefficient de transfert de chaleur par convection

P_c : périmètre chauffé

$$\text{or } T(z) = \frac{T_s + T_e}{2} + \frac{\Delta T \cdot \sin(2 \cdot \gamma \cdot z / L)}{2 \cdot \sin \gamma} \quad \text{et } \phi_0 = \frac{\rho \cdot Q \cdot c \cdot \Delta T \cdot \gamma}{L \cdot \sin \gamma}$$

$$T_g(z) = \frac{T_s + T_e}{2} + \frac{\Delta T \cdot \sin(2 \cdot \gamma \cdot z / L)}{2 \cdot \sin \gamma} + \frac{\rho \cdot Q \cdot c \cdot \Delta T \cdot \gamma}{L \cdot \sin \gamma} \cdot \frac{\cos(2 \cdot \gamma \cdot z / L)}{P_c \cdot h}$$

$$T_g(z) = \frac{T_s + T_e}{2} + \frac{\Delta T}{2 \cdot \sin \gamma} \left[\sin(2 \cdot \gamma \cdot z / L) + \frac{2 \cdot \gamma \cdot \cos(2 \cdot \gamma \cdot z / L)}{E} \right]$$

$$\text{avec } E = \frac{h \cdot P_c \cdot L}{\rho \cdot Q \cdot C}$$

pour le calcul de E, introduisons les nombres addimensionnels suivants :

$$Nu = \frac{h \cdot D_H}{\lambda}$$

$$Pr = \frac{\rho \cdot c \cdot \nu}{\lambda}$$

$$Re = \frac{V \cdot D_H}{\nu}$$

$$St = \frac{Nu}{Re \cdot Pr}$$

en posant $P_c = \pi \cdot D_H$ et $Q = \pi \cdot D_H^2 / 4$, on aura :

$$E = 4 \cdot St \cdot L / D_H$$

à l'intérieur de la couche limite laminaire, la relation de COLBURN reste valable

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.4}, \text{ d'ou } E = 4,0,023 \cdot Re^{-0.2} \cdot Pr^{-0.6} \cdot L / D_H$$

$$Re = 2,844 \cdot 10^4 \text{ (deja calculé)}$$

$$\rho = 0,898 \text{ g/cm}^3$$

$$c = 4,373 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$v = 0,181 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\lambda = 6,791 \cdot 10^{-3} \text{ W/cm} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$Pr = 1,0466$$

$$E = 4,0,023 \cdot [2,844 \cdot 10^4]^{-0.2} \cdot [1,0466]^{-0.6} \cdot 140,43 / 1,178 = 1,372$$

ayant calculé E, on peut maintenant déterminer l'expression de la température de la gaine

$$Tg(z) = 255,1 + 86 \cdot [\sin(2,01 \cdot 10^{-2} \cdot z) + 2,061 \cdot \cos(2,01 \cdot 10^{-2} \cdot z)]$$

$Tg(z)$ étant maintenant connue, il est très important de connaître la température maximale de la gaine.

L'expression de $Tg(z)$ est de la forme $A + B \cdot \sin X + C \cdot \cos X$, avec

$$A = \frac{T_s + T_c}{2}, B = \frac{\Delta T}{2 \cdot \sin \gamma} \text{ et } C = \frac{\gamma \cdot \Delta T}{E \cdot \sin \gamma}$$

$$Tg'(z) = 0 \rightarrow B \cdot \cos X - C \cdot \sin X = 0$$

$$(B/C) \cdot \cos X = \sin X = [1 - \cos^2 X]^{1/2}$$

$$\cos X = C / (B^2 + C^2)^{1/2}$$

de même, on trouve $\sin X = B / (B^2 + C^2)^{1/2}$, la température maximale de gaine sera donc :

$$Tg_{\max} = A + (B^2 + C^2)^{1/2}$$

$$Tg_{\max} = \frac{T_s + T_c}{2} + \left[\left[\frac{T_s - T_c}{2 \cdot \sin \gamma} \right]^2 + \left[\frac{T_s - T_c}{2 \cdot \sin \gamma} \right]^2 \cdot \frac{4 \cdot \gamma^2}{E^2} \right]^{1/2}$$

$$Tg_{\max} = \frac{T_s + T_c}{2} + \left[\frac{T_s - T_c}{2 \cdot \sin \gamma} \right] \cdot \left[1 + \frac{4 \cdot \gamma^2}{E^2} \right]^{1/2}$$

$$Tg_{\max} = 452,48 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Marge de sécurité par rapport à l'ébullition locale :

La température de saturation est donnée par la relation :

$$T_{sat} = 100 \cdot (P_{sat}/P_{atm})^{0,255}$$

si nous considérons que l'eau s'élève de 8 m au dessus du point chaud , on aura :

$$T_{sat} = 100 \cdot (1,731/1,013)^{0,255}$$

$$T_{sat} = 114,97 \text{ °C}$$

Pour qu'il n'y ait pas apparition d'ébullition locale , l'écart admissible entre la température d'une paroi et la température de saturation est donnée par la corrélation de JENS et LOTTES [12] .

$$\Delta T_{sat} = 7,9 \cdot \phi^{0,25} \cdot \exp(-A/62,1)$$

ϕ : Flux de chaleur a la paroi [W/cm²]

$$A = P_{sat}/P_{atm} = 1,709$$

$$\Delta T_{sat} = 7,9 \cdot (71,047)^{0,25} \cdot \exp(-1,709/62,1)$$

$$\Delta T_{sat} = 22,313 \text{ °C}$$

La température de l'eau a la quelle apparait l'ébullition est :

$$T_{eb} = T_{sat} + \Delta T_{sat}$$

$$T_{eb} = 137,28 \text{ °C}$$

En comparant $T_{g_{max}}$ a T_{eb} , on se rend a l'évidence que le réacteur type piscine a 200 Mwth ne peut fonctionner en convection naturelle , du moins avec les dimensions que nous avons adoptés pour la piscine .

III-1-4-6- EVOLUTION DE LA TEMPERATURE DU COMBUSTIBLE :

La loi de la conduction en régime permanent appliquée a la gaine du combustible (sans génération d'énergie) a une cote z s'écrit : $\nabla T = 0$

en coordonnées cylindriques , la solution de cette équation est : $T(r) = a \cdot \ln(r) + b$

en utilisant les conditions aux limites

$$r = R_2 ; \frac{dT}{dr} = - \frac{\phi}{\lambda_3}$$

$r = R_1 ; T = T_1$, on aboutit à la solution générale :

$$T(r) = (-\phi \cdot R_2 / \lambda_3) \cdot \ln(r/R_1) + T_1$$

comme la paroi est très mince : $R_2 - R_1 = e_p \ll R_1$ & e_p : épaisseur de la gaine

$$\Delta T_{max} = T_1 - T_2 = (\phi \cdot R_2 / \lambda_3) \cdot \ln(R_2/R_1) = (\phi \cdot R_2 / \lambda_3) \cdot \ln(1 + e_p/R_1)$$

or $\ln(1 + e_g/\lambda_3) \approx e_g/R_1$, $R_2/R_1 \approx 1$

$$\Delta T_{\max} = \phi \cdot e_g / \lambda_3$$

λ_3 : Conductivite thermique de la gaine

Si on néglige les contacts gaine -helium et helium-combustible , et que l'on tienne compte de la conductivite dans cette couche , nous avons :

$$\Delta T(\text{He})_{\max} = \phi \cdot e_{\text{He}} / \lambda_2$$

l'évolution de la température au coeur du combustible sera donc :

$$Tu(z) = T(z) + \Delta T_{\text{Caloporteur}} + \Delta T_g + \Delta T_{\text{He}} + \Delta T_c$$

$\Delta T_{\text{Caloporteur}}$: Chute de température dans le caloporteur .

ΔT_g : Chute de température dans la gaine .

ΔT_c : Chute de température dans le combustible .

$$Tu(z) = T(z) + \phi \cdot \left[\frac{1}{P_c \cdot h} + \frac{e_g}{\lambda_3 \cdot P_c} + \frac{e_{\text{He}}}{\lambda_2 \cdot P_c} + \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \lambda_1} \right]$$

Ou :

h : Coefficient de transfert de chaleur par convection du caloporteur .

P_c : Périmètre chauffé .

Sachant que : $\phi(z) = \phi_0 \cdot \cos(2 \cdot \gamma \cdot z/l)$ & $\phi_0 = \rho \cdot Q \cdot c \cdot \Delta T \cdot \gamma / l \cdot \sin \gamma$

L'expression de $Tu(z)$ devient :

$$Tu(z) = \frac{T_c + T_g}{2} + \frac{\Delta T}{2 \cdot \sin \gamma} \left[\sin(2 \cdot \gamma \cdot z/l) + \frac{2 \cdot \gamma \cdot \cos(2 \cdot \gamma \cdot z/L)}{E} \right] + E' \cdot \frac{\Delta T \cdot \gamma}{\sin \gamma} \cdot \cos(2 \cdot \gamma \cdot z/L) \left[\frac{e_g}{\lambda_3} + \frac{e_{\text{He}}}{\lambda_2} + \frac{P_c}{4 \cdot \pi \cdot \lambda_1} \right]$$

$$\text{avec } E = \frac{h \cdot P_c \cdot L}{\rho \cdot Q \cdot c} \quad \& \quad E' = \frac{\rho \cdot Q \cdot c}{L \cdot P_c}$$

Calcul de E'

$$\rho = 0,898 \text{ g/cm}^3$$

$$Q = \pi \cdot D_H^2 \cdot v$$

$$D_H = 11,778 \text{ cm}$$

$$v = 43,71 \text{ cm/s}$$

$$Q = 47,62 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$L = 140,43 \text{ cm}$$

$$P_c = 2,985 \text{ cm}$$

$$E' = 0,446$$

Les valeurs numeriques entrant dans l'expression de $T_{ii}(z)$ sont :

$$e_g = 5,7 \cdot 10^2 \text{ cm}$$

$$e_{He} = 8,5 \cdot 10^3 \text{ cm}$$

$$\gamma = 1,414$$

$$\lambda_1 = 3,35 \cdot 10^2 \text{ W/cm } ^\circ\text{C}$$

$$\lambda_2 = 2,25 \cdot 10^3 \text{ W/cm } ^\circ\text{C}$$

$$\lambda_3 = 0,150 \text{ W/cm } ^\circ\text{C}$$

Les calculs faits précédemment nous ont donné la valeur de l'expression :

$$A = \frac{T_s + T_e}{2} + \frac{\Delta T}{2 \cdot \sin \gamma} \left[\sin(2 \cdot \gamma \cdot z/l) + \frac{2 \cdot \gamma \cdot \cos(2 \cdot \gamma \cdot z/L)}{E} \right]$$

$$B = E' \cdot \frac{\Delta T \cdot \gamma}{\sin \gamma} \cdot \cos(2 \cdot \gamma \cdot z/L) \left[\frac{e_g}{\lambda_3} + \frac{e_{He}}{\lambda_2} + \frac{P_c}{4 \cdot \pi \cdot \lambda_1} \right]$$

En remplaçant chaque terme par sa valeur numerique , on aura :

$$A = 255,1 + 86 \cdot [\sin(2,01 \cdot 10^2 \cdot z) + 2,061 \cdot \cos(2,01 \cdot 10^2 \cdot z)]$$

$$B = 1222,358 \cdot \cos(2,01 \cdot 10^2 \cdot z)$$

$$Tu(z) = A + B$$

$$Tu(z) = 255,1 + 86 \cdot \sin(2,01 \cdot 10^2 \cdot z) + 1399,604 \cdot \cos(2,01 \cdot 10^2 \cdot z)$$

L'expression de $Tu(z)$ etant de la forme :

$$Tu(z) = A + B \cdot \sin X + C \cdot \cos X$$

On en deduit que :

$$Tu_{max}(z) = a + (b^2 + c^2)^{1/2} \quad (\text{voir calculs precedents})$$

$$Tu_{max}(z) = 1657,34 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Remarque : La valeur de la température $Tu_{max}(z)$ respecte bien les limites technologique du combustible UO_2 , car la température de fusion de ce dernier est :

$$T_{fusion} = 2500 - 2800 \text{ } ^\circ\text{C}$$

REMARQUE : La figure 18 de l'annexe 1 représente la distribution de la température dans les différents matériaux du crayon combustible dans le cas de la convection naturelle .

II-1-4-7-CALCUL DU COEFFICIENT DE TRANSFERT DE CHALEUR PAR CONVECTION :

$$h = \text{Nu} \cdot \lambda / D_h$$

$$h = 0,023 \cdot \lambda \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,4} / D_h$$

$$h = 0,4938 \text{ W/cm}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

III-2- ETUDE EN CONVECTION FORCEE :

Pour le calcul de la puissance de pompage , on adoptera un debit primaire superieur a celui du coeur, du fait qu'on avait négligé les pertes de charge hors du coeur .

$$\text{Soit } Q_p = 1,3Q_c$$

Q_p : Debit dans le circuit primaire.

Q_c : Debit dans le coeur.

$$Q_c [\text{m}^3/\text{h}] = 0,0036 \cdot V_c \cdot A_p$$

Avec

V_c : Vitesse dans le canal principal [cm/s]

A_p : Section de passage dans le coeur en [cm²]

$$A_p = A_c \cdot N_c \cdot N_A - N_B \cdot A_B$$

A_c : Section de passage d'un canal [$A_c = 0,879 \text{ cm}^2$]

N_c : Nombre de canaux par assemblage [$N_c = 49$]

N_A : Nombre d'assemblage [$N_A = 159$]

N_B : Nombre de barres de controle [$N_B = 5$]

A_B : Section d'une barre de controle [$A_B = 0,736 \text{ cm}^2$]

$$\text{D'ou } A_p = 6844,609 \text{ cm}^2$$

III-2-1- CALCUL DE LA VITESSE DANS LE CANAL PRINCIPAL :

Pour la suite du travail on adoptera une difference de température égale a 30 °C [$\Delta T = 30 \text{ °C}$] .

T_e : Température d'entrée dans le coeur [$T_e = 170 \text{ °C}$]

T_s : Température de sortie du coeur [$T_s = 200 \text{ °C}$]

La puissance par canal est :

$$P = \rho \cdot Q_c \cdot c \cdot \Delta T$$

A la température $T = 170 \text{ °C}$ on relève :

ρ : masse volumique du fluide caloporteur [$\rho = 0,879 \text{ g/cm}^3$].

c : Chaleur spécifique du fluide caloporteur [$c = 4,373 \text{ J/g}^\circ\text{C}$]

A_c : Section de passage d'un canal [$A_c = 0,879 \text{ cm}^2$]

La puissance d'un canal est $P = 25670,654 \text{ Watts}$

L'expression de V_c est :

$$V_c = \frac{P}{\Delta T \cdot \rho \cdot c \cdot A_c}$$

Pour $\Delta T = 30^\circ\text{C}$ on aura :

$$V_c = 247,979 \text{ cm/s}$$

III-2-2- TEMPERATURE DU FLUIDE CALOPORTEUR :

D'après l'expression de $T(z)$ déterminée précédemment :

$$T(z) = \frac{T_1 + T_2}{2} + \frac{\Delta T \cdot \sin(2 \cdot \gamma \cdot z/L)}{2 \cdot \sin \gamma}$$

$$T(z) = 185 + 15,19 \cdot \sin(2,01 \cdot 10^{-2} \cdot z)$$

$$T(z)_{\max} = 200,19^\circ\text{C}$$

III-2-3- TEMPERATURE DE LA GAINE :

$$T_g(z) = \frac{T_1 + T_2}{2} + \frac{\Delta T}{2 \cdot \sin \gamma} \left[\sin(2 \cdot \gamma \cdot z/L) + \frac{2 \cdot \gamma \cdot \cos(2 \cdot \gamma \cdot z/L)}{E} \right]$$

avec $E = h \cdot P_c \cdot L / (\rho \cdot Q \cdot C)$

La valeur de E est obtenue en combinant les trois nombres addimensionnels suivants :

$$* \text{Nu} = 0,023 \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,4}$$

$$* \text{Pr} = \rho \cdot c \cdot \nu / \lambda$$

$$* \text{Re} = V \cdot D_H / \nu$$

$$* \text{St} = \text{Nu} / \text{Re} \cdot \text{Pr}$$

On aura :

$$E = 4 \cdot \text{St} \cdot L / D_H = 4 \cdot 0,023 \cdot \text{Re}^{-0,2} \cdot \text{Pr}^{-0,6} \cdot L / D_H$$

D'où :

$$\text{Re} = 1,61 \cdot 10^5$$

$$\rho = 0,898 \text{ g/cm}^3$$

$$c = 4,373 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\nu = 0,181 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\lambda = 6,791 \cdot 10^{-3} \text{ W/cm} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{Pr} = 1,0466$$

Finalement on a :

$$E = 0,97$$

Lavaleur de E etant connue , on peut maintenant déterminer l'expression de la température de la gaine

$$Tg(z) = 185 + 15,19. [\sin(2,01.10^{-2}.z) + 2,915.\cos(2,01.10^{-2}.z)]$$

Il est tres important de connaitre la température maximale de la gaine $Tg(z)$, pour se situer par rapport aux limites technologique de celle-ci :

$$Tg(z) = 231,813 \text{ } ^\circ\text{C}$$

III-2-4- TEMPERATURE DU COMBUSTIBLE :

L'expression de $Tu(z)$ est :

$$Tu(z) = \frac{T_s + T_e}{2} + \frac{\Delta T}{2.\sin\gamma} \left[\sin(2.\gamma.z/l) + \frac{2.\gamma.\cos(2.\gamma.z/L)}{E} \right]$$

$$E' = \frac{\Delta T.\gamma}{\sin\gamma} .\cos(2.\gamma.z/L) \left[\frac{c_s}{\lambda_3} + \frac{c_{He}}{\lambda_2} + \frac{P_c}{4.\pi.\lambda_1} \right]$$

avec $E = h.P_c.L/(\rho.Q.C)$ & $E' = \rho.Q.c/l.P_c$

$E = 0,97$ (deja calcule)

$Q = A_c.V_c$ avec $A_c = 0,879 \text{ cm}^2$ & $V_c = 247,979 \text{ cm/s}$

$Q = 270,268 \text{ cm}^3/\text{s}$

$c = 4,373 \text{ J/g}^\circ\text{C}$

$L = 140,43 \text{ cm}$

$P_c = 2,985 \text{ cm}$

D'ou

$E' = 2,532$

Les valeurs numériques des differants paramètres entrants dans l'expression de $Tu(z)$ sont exposés dans la partie convection naturelle, on aura donc :

$$Tu(z) = 185 + 15,19.\sin(2,01.10^{-2}.z) + 1267,455.\cos(2,01.10^{-2}.z)$$

La température maximale du combustible est :

$$Tu(z)_{\max} = 1452,546 \text{ } ^\circ\text{C}$$

La distribution de la température en convection forcée pour les differents matériaux du crayon combustible est représentée sur la figure 19 de l'annexe 1.

III-2-5- CALCUL DU COEFFICIENT DE TRANSFERT DE CHALEUR PAR CONVECTION :

En regime turbulent : $Nu = 0,023.Re^{0,8}.Pr^{0,4}$

$$Pr = 1,047 \text{ \& } Re = 1,61.10^5$$

$$Nu = 342,9$$

$$h = Nu \cdot \lambda / D_H$$

$$h = 1,98 \text{ W/cm}^2 \cdot \text{°C}$$

On constate que le coefficient d'échange en convection forcée est très supérieur par rapport à ce qui est calculé en convection naturelle, donc un meilleur refroidissement du cœur du réacteur :

III-2-6- CALCUL DE LA PUISSANCE DE POMPAGE :

III-2-6-1- CALCUL DU DÉBIT :

$$\text{Débit dans le cœur : } Q_c = 0,0036 \cdot V_c \cdot A_p$$

$$Q_c = 6110,35 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Débit dans le circuit primaire : } Q_p = 1,3 \cdot Q_c = 7943,45 \text{ m}^3/\text{h}$$

III-2-6-2- CALCUL DES PERTES DE CHARGE EN RÉGIME TURBULENT :

1-Entrée du pied :

$$\Delta H_1 = \zeta \cdot V_1^2 / 2 \cdot g$$

$\zeta = 0,5$ du diagramme 3-1 de la référence [15]

$$\Delta H_1 = 0,306 \cdot V_c^2 / 2 \cdot g$$

2-Dans l'orifice :

$$\Delta H_2 = f \cdot L \cdot V_1^2 / (2 \cdot D_H \cdot g)$$

pour $Re = 8,97 \cdot 10^5$, le diagramme 2-2 de la ref [15] donne : $f = 0,012$

$$L = 16 \text{ mm \& } D_H = 83,72 \text{ mm}$$

$$\Delta H_2 = 2,293 \cdot 10^{-3} V_1^2 / 2 \cdot g$$

$$\Delta H_2 = 1,402 \cdot 10^{-3} \cdot V_c^2 / 2 \cdot g$$

3-Entrée partie basse et dans le cylindre de $\phi = 74,2 \text{ mm}$:

$$\Delta H_3 = \zeta \cdot V_2^2 / 2 \cdot g$$

$$\text{avec } \zeta = f \cdot L / D_H + \zeta_0$$

$A_2 / A_1 = 0,786$, du diagramme 4-10 de la ref [15] on tire : $\zeta_0 = 1,33$

$$f = 0,012 \text{ (pour } Re = 1,013 \cdot 10^6 \text{)}$$

$$L = 161 \text{ mm et } D_H = 74,2 \text{ mm}$$

$$\Delta H_3 = (f \cdot L / D_H + \zeta_0) \cdot V_2^2 / 2 \cdot g \text{ avec } V_2 = 0,996 \cdot V_c$$

$$\Delta H_3 = 1,343.V_c^2/2.g$$

4- Perte de charge dans le cône :

$$\Delta H_4 = \zeta.V_2^2/2.g$$

$$\zeta = \zeta_{\text{élargissement}} + \zeta_{\text{frottement}}$$

$$\zeta_{\text{élargissement}} = 0,27 \text{ (déjà calculé)}$$

$$\zeta_{\text{frottement}} = [f/8.\sin(\alpha/2)].[1 - (A_2/A_3)] \text{ \& } A_2/A_3 = (D_2/D_{H3})^2 = 0,520$$

D_2 : diamètre de la section 2

D_{H3} : diamètre hydraulique de la section 3

$$\alpha = 59,726^\circ$$

$$\zeta_{\text{frottement}} = 2,198.10^{-3}$$

$$\zeta = \zeta_{\text{frottement}} + \zeta_{\text{élargissement}} = 0,272$$

$$\Delta H_4 = 0,270.V_c^2/2.g$$

5- Perte de charge dans la partie médiane :

$$\Delta H_5 = f.L.V_3^2/(2.D_H .g)$$

$$L = 6 \text{ mm}$$

$$D_H = 182,4 \text{ mm}$$

le diagramme 2-2 de la ref[15] donne pour $Re = 1,294.10^5$, $f = 1,741.10^{-2}$

$$\Delta H_5 = 1,537.10^{-4}V_c^2/2.g$$

6- Perte de charge due au rétrécissement grille inférieure :

$$\Delta H_6 = \zeta.V_4^2/2.g$$

$$\zeta = \zeta'.(1 - A_4/A_3)$$

$$\zeta' = 0,5 \text{ du diagramme 3-1 de la référence [15]}$$

$$\Delta H_6 = 0,762.V_c^2/2.g$$

7- Perte de charge dans le canal de la grille inférieure :

$$\Delta H_7 = f.L.V_4^2/(2.D_H.g)$$

$$L = 20 \text{ mm}$$

$$D_H = 9,5 \text{ mm}$$

$$V_4 = 1,24.V_c$$

Pour $Re = 1,614.10^5$, le diagramme 2-2 de la ref[15] donne

$$f = 1,677.10^{-2}$$

$$\Delta H_7 = 5,429.10^{-2}.V_c^2/2.g$$

8- Perte de charge par élargissement brusque a la sortie de la grille :

$$\Delta H_8 = \zeta.V_4^2/2.g$$

$$\zeta = (1-A_4/A_5)^2$$

$$A_4 = (9,5.10^{-3})^2.\pi/4 = 7,088.10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_5 = (12,6.10^{-3})^2 - (5.10^{-3})^2.\pi/4 = 1,391.10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\zeta = 0,241$$

$$\Delta H_8 = 0,370.V_c^2/2.g$$

9- Perte de charge dans le cone :

$$\Delta H_9 = \zeta.V_5^2/2.g$$

$$\zeta = \zeta_{\text{frottement}} + \zeta_{\text{rectification}}$$

$$\zeta_{\text{rectification}} = 0,184 \text{ (deja calcule)}$$

$$\zeta_{\text{frottement}} = [f/8.\sin(\alpha/2)].[1 - (A_c/A_5)^2]$$

pour $\alpha = 9,133^\circ$ et $Re = 1,614.10^5$, le diagramme 2-2 de la ref[15] donne :

$$f = 1,677.10^{-2}$$

$$\zeta_{\text{frottement}} = 1,581.10^{-2}$$

$$\Delta H_9 = 0,12.V_c^2/2.g$$

10- Perte de charge dans le canal principal :

$$\Delta H_{10} = f.L.V_c^2/(2.D_H.g)$$

$$f = 1,677.10^{-2}$$

$$L = 140,43 \text{ cm}$$

$$D_H = 11,78 \text{ mm}$$

$$\Delta H_{10} = 2V_c^2/2.g$$

11- Perte de charge dans le cone précédant la grille supérieure :

$$\Delta H_{11} = \zeta.V_c^2/2.g$$

$$\zeta = \zeta_{\text{élargissement}} + \zeta_{\text{frottement}}$$

$$\zeta_{\text{élargissement}} = 0,092 \text{ (deja calcule)}$$

$$\zeta_{\text{frottement}} = [f/8.\sin(\alpha/2)].[1 - (A_c/A_6)^2]$$

$$\alpha = 28,66^\circ$$

$$f = 1,677 \cdot 10^{-2} \text{ \& } A_c/A_6 = 0,54$$

$$\zeta_{\text{frottement}} = 6 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta H_{11} = 9,8 \cdot 10^{-2} \cdot V_c^2 / 2 \cdot g$$

12- Perte de charge dans la section de longueur 2 mm précédant la grille supérieure :

$$\Delta H_{12} = f \cdot L \cdot V_c^2 / (2 \cdot D_H \cdot g)$$

$$L = 12 \text{ mm}$$

$$D_H = 46,5 \text{ mm}$$

$$f = 1,417 \cdot 10^{-2} \text{ du diagramme 2-2 pour } Re = 3,829 \cdot 10^5$$

$$\Delta H_{12} = 2,202 \cdot 10^{-4} \cdot V_c^2 / 2 \cdot g$$

13- Perte de charge due au rétrécissement à l'entrée du canal de la grille supérieure :

$$\Delta H_{13} = \zeta \cdot V_7^2 / 2 \cdot g$$

$$\zeta = \zeta' \cdot (1 - A_7/A_6)$$

$$\zeta' = 0,5 \text{ diagramme 3-1 de la ref [15]}$$

$$\zeta = 0,5 \cdot [1 - (\pi \cdot 9,5^2 / 4) / (12,6^2 - \pi \cdot 4^2 / 4)] = 0,258$$

$$\Delta H_{13} = 0,396 \cdot V_c^2 / 2 \cdot g$$

14- Perte de charge par frottement dans le canal de la grille supérieure et par élargissement à sa sortie :

$$\Delta H_{14} = \zeta \cdot V_7^2 / 2 \cdot g$$

$$\text{avec } \zeta = \frac{\zeta_0 + \frac{f \cdot L}{D_H}}{f^2}$$

$$f' = A_7/A_6 = 0,485, \zeta_0 = 1,5 \text{ du diagramme 4-10 de la ref [15]}$$

pour $Re = 1,614 \cdot 10^5$, $f = 1,677 \cdot 10^{-2}$, diagramme 2-2 de la même référence.

$$L = 15 \text{ mm}$$

$$D_H = 9,5 \text{ mm, d'ou}$$

$$\zeta = 0,359$$

$$\Delta H_{14} = 0,552 \cdot V_c^2 / 2 \cdot g$$

Perte de charge totale :

$$\Delta H_T = \sum \Delta H_i, i=1,14$$

$$\Delta H_T = 6,273.V_c^2/2.g$$

PUISSANCE DE POMPAGE :

$$P = \rho.g.\Delta H_T.Q$$

$$\Delta H_T : \text{perte de charge totale} = 6,273.V_c^2/2.g$$

$$Q : \text{débit dans le circuit primaire} = 7943,45 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\rho : \text{masse volumique de l'eau} = 0,898 \text{ g/cm}^3$$

$$P = 6,215.10^3.V_c^2$$

$$V_c = 247,979 \text{ cm/s}$$

$$P = 3,822.10^2 \text{ MW}$$

CHAPITRE IV

ETUDE DU BLINDAGE

Le blindage accomplit plusieurs fonctions , la plus importante etant d'isoler la population avoisinante des radiations qui peuvent causer des dommages irréversible dans la matière vivante .

Généralement , le blindage se fait contre les rayons γ et les neutrons , par contre , on ne prévoit pas de blindage contre les rayonnements α et β qui sont des particules chargées , donc soumises a la *répulsion coulombienne* dans la matière.

Dans ce chapitre , on se propose de déterminer la nature et les dimensions des écrans a realiser autour d'un réacteur , la dose maximale etant de 1 m rem/h , ceci repondra au souci de laisser une marge de sécurité au personnel et permet de prévoir des travaux de longue durée sous irradiation plus forte que la normale .

Le blindage prévu sera constitué :

- D'une épaisseur d'acier inoxydable constituant la cuve [$e_1 = 10$ cm] ;
- D'une épaisseur d'eau constituant le réflecteur [$e_2 = 32$ cm] ;
- D'une couche de beton lourd dont l'épaisseur sera déterminée en fonction de la dose maximale admissible, le type de beton choisi est à base de fer de densité élevée.

IV-1- CALCUL DU FACTEUR D'ACCUMULATION :

Considerons un faisceau photonique monodirectionnel de flux ϕ_0 et d'énergie E_0 incident sur un écran plaque d'épaisseur " a " , en absence d'écran , le taux d'exposition en un point est donné par[1]

$$X_0 = 0,0659 \cdot \phi_0 \cdot E_0 \cdot (\mu/\rho)_{air} \quad (\text{m rem/h})$$

E_0 : Énergie des photons .

$(\mu/\rho)_{air}$: Coefficient d'atténuation massique dans l'air en cm^2/g .

La relation précédente peut s'écrire sous une autre forme :

$$X_0 = C \cdot \phi_0 \quad \text{avec } C = 0,0659 \cdot E_0 \cdot (\mu/\rho)_{air}$$

Il serait plus facile de calculer ϕ_0 si chaque fois qu'un photon interagit disparaît , le flux restant sera un flux non diffusé (qui n'a pas subi de collisions) , et s'exprimera par :

$$\phi_u = \phi_0 \cdot \exp(-\mu \cdot a)$$

μ : coefficient d'atténuation du matériau constituant le blindage , déterminé à l'énergie E_0 (énergie du neutron).

Cependant les rayons γ ne disparaissent pas à chaque interaction , ils seront diffusés dans une autre

direction avec une énergie moindre.

Ainsi , en absence d'écran , certains photons ne passeraient pas par le point " p " , pour tenir compte de ce phénomène , on introduit la notion du facteur d'accumulation ou "Build Up Factor" dont la valeur est supérieure a 1.

Le flux réel sera donc :

$$\phi = \phi_0 \cdot B(\mu \cdot a) = \phi_0 \cdot B(\mu \cdot a) \cdot \exp(-\mu \cdot a)$$

Le facteur d'accumulation peut être déterminé d'une manière empirique , telle que la formule de TAYLOR [1,2] :

$$B(\mu \cdot a) = A_1 \cdot \exp(-\alpha_1 \cdot \mu \cdot a) + A_2 \cdot \exp(-\alpha_2 \cdot \mu \cdot a)$$

A_1, A_2, α_1 et α_2 , sont tabulés en fonction de l'énergie et du type du blindage choisi .

IV-2- SOURCE PONCTUELLE :

Considérons une source ponctuelle isotropique de photons se déplaçant dans la direction radiale avec une intensité I photons/s , pour déterminer le flux à la distance r de la source en absence d'écran , on considérera une sphère de rayon r centrée au point de la source , le flux sera égal à l'intensité I mesurée au point P multipliée par la surface de la sphère :

$$\text{Source} = 4 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot I(r) = C^a = S_p$$

$$I(r) = S_p / (4 \cdot \pi \cdot r^2)$$

IV-3- SOURCE LINEAIRE AVEC BLINDAGE CYLINDRIQUE : (FIG 20 , annexe 1)

$$d\phi_0 = \frac{S_L \cdot \exp(-\mu \cdot a)}{4 \cdot \pi \cdot r^2} dz$$

$$\phi_0 = \frac{S_L}{4 \cdot \pi} \int_{-L/2}^{L/2} \frac{\exp(-\mu \cdot a)}{r^2} dz$$

Posons $r = a / \cos\theta$

$z = a \cdot \tan\theta$

$dz = a \cdot \sec^2\theta \cdot d\theta$ avec $\sec\theta = 1/\cos\theta$

le flux sera donc :

$$\phi_0 = \frac{S_L}{4 \cdot \pi \cdot a} \int_{-\theta_1}^{\theta_2} \exp(-\mu \cdot a \cdot \sec\theta) \cdot d\theta$$

$$= \frac{S_1}{4.\pi.a} [F(\theta_2, \mu.a) - F(-\theta_1, \mu.a)]$$

$$\text{Avec } F(\theta, x) = \int_0^\theta \exp(-\mu.a.\sec\theta).d\theta$$

Avec F fonction integrale de SIEVERT qui a la propriete suivante $F(-\theta_1, \mu.a) = -F(\theta_1, \mu.a)$

$$\phi_o = \frac{S_1}{4.\pi.a} [F(\theta_2, \mu.a) + F(\theta_1, \mu.a)]$$

IV-4- SOURCE VOLUMIQUE AVEC BLINDAGE CYLINDRIQUE :

La figure 21 de l'annexe 1 schematise une source cylindrique de rayon R et de hauteur H, émettant S neutrons /cm³.s entourée par un blindage cylindrique d'épaisseur a .

Le flux au point P émis par l'élément de volume dv est :

$$d\phi_o = \frac{S.\exp(-\mu.r_1 + \mu_c.r_c)}{4.\pi.r^2} dz$$

$$\text{Avec } r_1 = a.\sec\theta$$

$$r_c = R.\sec\theta$$

$$z = (a+R).tg\theta$$

$$dz = (a+R).\sec^2\theta.d\theta$$

En remplaçant chaque terme dans l'expression de $d\phi_o$ on aura :

$$\phi_o = \frac{S.R^2}{4.\pi.(R+a)} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \exp(-\mu_c.R.\sec\theta - \mu.a.\sec\theta).d\theta$$

En utilisant la fonction integrale de SIEVERT F , l'expression du flux ϕ_o sera :

$$\phi_o = \frac{S_v.R^2}{4.(R+a)} [F(\theta_2, \mu.a + \mu_c.R) + F(\theta_1, \mu.a + \mu_c.R)]$$

S_v : source volumique

R: rayon du coeur

b : distance entre le point de mesure du flux et la source (généralement le flux est mesuré juste à la limite du blindage , d'où on peut considerer $b=a$) .

μ : coefficient d'attenuation du materiau constituant le blindage

μ_c : coefficient d'attenuation du coeur

dans le cas ou l'on opte pour un blindage multicouches, le flux sera

$$\phi_0 = \frac{S_v \cdot R^2}{4 \cdot (b+a_c)} [F(\theta_2, \mu_c \cdot a_c + \mu_1 \cdot a_1 + \mu_2 \cdot a_2 + \dots) + F(\theta_1, \mu_c \cdot a_c + \mu_1 \cdot a_1 + \mu_2 \cdot a_2 + \dots)]$$

IV-5- BLINDAGE AXIAL (PARTIE BASSE) :

Pour ce cas , le flux est donné par l'expression suivante [1,2]

$$\phi = \frac{S_v}{2 \cdot \mu_c} \left[E_2(\mu \cdot a) - E_2(\mu \cdot a + \mu_c \cdot L_c) + \frac{E_2[(\mu \cdot a + \mu_c \cdot L_c) \cdot (1+(a/b)^2)^{1/2.5}]}{(1+(a/b)^2)^{1/2}} \cdot \frac{E_2[\mu \cdot a \cdot (1+(a/b)^2)^{1/2}]}{E_2[\mu \cdot a \cdot (1+(a/b)^2)^{1/2}} \right]$$

S_v : source volumique

L_c : hauteur du coeur

b : distance entre le point de mesure du flux et la limite inferieure du coeur

a : épaisseur du blindage

la fonction E_2 apparaissant dans l'expression précédente est donné par

$$E_n(t) = (t)^{n-1} \int_t^{\infty} (e^{-t} / t^n) dt \quad \text{pour } t < 10$$

$$E_n(t) = e^{-t} [1/(t+n) + n/(t+n)^3] \quad \text{pour } t > 10$$

IV-6- CALCUL DES EPAISSEURS DES DIFFERENTS BLINDAGES :

IV-6-1- CALCUL DE L'EPAISSEUR DU BLINDAGE RADIAL :

Pour ce cas, le flux est donné par l'expression suivante que nous avons déjà établi

$$\phi_0 = \frac{S_v \cdot R^2}{4(R+a_1+a_2+a_3)} [F(\theta_1, \mu_1 \cdot a_1 + \mu_2 \cdot a_2 + \mu_3 \cdot a_3 + \mu_c \cdot R) + F(\theta_2, \mu_1 \cdot a_1 + \mu_2 \cdot a_2 + \mu_3 \cdot a_3 + \mu_c \cdot R)]$$

dans notre cas $b = a_1 + a_2 + a_3$

$$S_v = 2,42 \cdot P / (3,2 \cdot 10^{-11} \cdot V)$$

P : puissance du reacteur en watts

V : volume du coeur en cm^3

le facteur 2,42 intervenant dans l'expression de S_v représente le nombre moyen de neutrons émis par fission .

le nombre $3,2 \cdot 10^{-11}$ est le facteur de conversion du Mev au Watt

$$S_v = 2,42 \cdot 200 \cdot 10^6 / (3,2 \cdot 10^{-11} \cdot \pi \cdot 94^2 \cdot 140,43) = 3,88 \cdot 10^{12} \text{ neutrons/cm}^3 \cdot s$$

R : rayon du coeur (94 cm)

μ_1 : coefficient d'atténuation du béton précontraint ($\mu_1=0,1093 \text{ cm}^{-1}$)

a_1 : est l'épaisseur de la couche de béton à déterminer

μ_2 : coefficient d'atténuation du réflecteur ($\mu_2=0,0275 \text{ cm}^{-1}$)

a_2 : épaisseur de la couche d'eau constituant le réflecteur ($a_2=32 \text{ cm}$)

μ_3 : coefficient d'atténuation de la cuve en acier inoxydable ($\mu_3=0,237 \text{ cm}^{-1}$)

a_3 : épaisseur de la cuve ($a_3=10 \text{ cm}$)

μ_c : coefficient d'atténuation du coeur ($\mu_c=0,059 \text{ cm}^{-1}$)

posons $a=R+a_2+a_3$ et $\mu.a=\mu_c.R+\mu_2.a_2+\mu_3.a_3$

$$\phi_u = \frac{S_v.R^2}{4(a_1+a)} [F(\theta_1, \mu_1.a_1+\mu.a)+F(\theta_2, \mu_1.a_1+\mu.a)]$$

pour déterminer l'épaisseur du blindage radial a_1 , on assimile notre coeur à une source de hauteur infinie, ce qui donne :

$\theta_1=\theta_2=\pi/2 =\theta$ et $F(\theta, x)$ est donnée par l'expression mathématique suivante

$$F(\theta, x) = \left[\frac{\pi}{2.x} \right]^{1/2} . e^{-x} \left[1 - \frac{5}{8.x} \right]$$

en remplaçant $F(\theta, x)$ par son expression dans la formule de ϕ_u , on trouve

$$\phi_u = \frac{S_v.R^2}{2.(a+a_1)} \left[\left[\frac{\pi}{2.(\mu.a+\mu_1.a_1)} \right]^{1/2} . \exp-(\mu.a+\mu_1.a_1) \left[1 - \frac{5}{8.(\mu.a+\mu_1.a_1)} \right] \right]$$

la valeur de a_1 à déterminer doit être telle que le flux ϕ_u au point de mesure P corresponde à une dose (ou taux d'exposition) de 1 m rem/h

le flux correspondant à cette dose est donné par $\phi_o=X/[0,0659.E.(\mu_a/\rho)_{air}]$

X: taux d'exposition en m rem/h

$(\mu_a/\rho)_{air}$: coefficient d'absorption massique ($(\mu_a/\rho)_{air}=0,0172 \text{ cm}^2/\text{g}$)

E_o : énergie du neutron ($E_o=6\text{Mev}$)

$\phi_o=147 \text{ neutrons/cm}^2.\text{s}$

$$\phi_o=\phi_u = \frac{S_v.R^2}{2.(a+a_1)} \left[\left[\frac{\pi}{2.(\mu.a+\mu_1.a_1)} \right]^{1/2} . \exp-(\mu.a+\mu_1.a_1) \left[1 - \frac{5}{8.(\mu.a+\mu_1.a_1)} \right] \right] \quad (*)$$

l'équation (*) étant très difficile à résoudre, on fera une approche itérative sur a_1 , ce qui donne

$$a_1=151,13 \text{ cm}$$

La variation de la dose extérieure en fonction de l'épaisseur du béton est donnée par le tableau suivant :

VARIATION DE LA DOSE EXTERIEURE EN FONCTION DE L'ÉPAISSEUR DU
BETON

DOSE (m rem/h)	EPAISSEUR DU BETON (cm)
1	151,13
0,9	152,10
0,8	153,08
0,7	154,24
0,6	155,58
0,5	157,17
0,4	159,12
0,3	161,63
0,2	165,17
0,1	171,22
0,01	191,37

IV-6-2- BLINDAGE AXIAL (PARTIE BASSE) [FIG 22 , annexe1] :

Pour ce cas , le flux est donné par

$$\phi_0 = \frac{S_v}{2 \cdot \mu_c} \left[\frac{E_2(\mu_1 \cdot a_1 + \mu_2 \cdot a_2 + \mu_3 \cdot a_3) + E_2(\mu_c \cdot L_c + \mu_1 \cdot a_1 + \mu_2 \cdot a_2 + \mu_3 \cdot a_3) + E_2[(\mu_c \cdot L_c + \mu_1 \cdot a_1 + \mu_2 \cdot a_2 + \mu_3 \cdot a_3)(1 + (R/a_1 + a_2 + a_3)^2)^{1/2}]}{((1 + (R/a_1 + a_2 + a_3)^2)^{1/2})} + \frac{E_2[(\mu_1 \cdot a_1 + \mu_2 \cdot a_2 + \mu_3 \cdot a_3) \cdot (1 + (R/a_1 + a_2 + a_3)^2)^{1/2}]}{((1 + (R/a_1 + a_2 + a_3)^2)^{1/2})} \right]$$

posons $a = a_1 + a_2 + a_3$ et $\mu \cdot a = \mu_1 \cdot a_1 + \mu_2 \cdot a_2 + \mu_3 \cdot a_3$

$$\phi_0 = \frac{S_v}{2 \cdot \mu_c} \left[E_2(\mu \cdot a) + E_2(\mu_c \cdot L_c + \mu \cdot a) + \frac{E_2[(\mu_c \cdot L_c + \mu \cdot a) \cdot (1 + (R/a)^2)^{1/2}]}{(1 + (R/a)^2)^{1/2}} + \frac{E_2[\mu \cdot a \cdot (1 + (R/a)^2)^{1/2}]}{(1 + (R/a)^2)^{1/2}} \right]$$

$$\mu_1 = 0,1093 \text{ cm}^{-1}$$

a_1 est l'inconnue à déterminer

$$\mu_2 = 0,0275 \text{ cm}^{-1}$$

$$a_2 = 32 \text{ cm}$$

$$\mu_3 = 0,237 \text{ cm}^{-1}$$

$$a_3 = 10 \text{ cm}$$

$$\mu_c = 0,059 \text{ cm}^{-1}$$

$$L_c = 140,43 \text{ cm (hauteur du coeur)}$$

$$E_n(\mu \cdot a) = e^{-\mu \cdot a} \left[\frac{1}{(\mu \cdot a + n)} + \frac{n}{(\mu \cdot a + n)^2} \right] \text{ pour } \mu \cdot a > 10$$

$$\text{dans notre cas } n=2, E_2(\mu \cdot a) = e^{-\mu \cdot a} \left[\frac{1}{(\mu \cdot a + 2)} + \frac{2}{(\mu \cdot a + 2)^2} \right]$$

pour $\mu \cdot a < 10$ E_2 est donné par le graphe 11 [SECT 7, REF 1] en fonction de $\mu \cdot a$.

La valeur de a_1 doit être déterminée de telle manière que le taux d'exposition au point P soit égal au maximum à 1m rem/h.

Le flux correspondant à ce taux d'exposition est $\phi_0 = 147 \text{ neutrons/cm}^2 \cdot \text{s}$

$$\phi_0 = \frac{S_v}{2 \cdot \mu_c} \left[E_2(\mu \cdot a) + E_2(\mu_c \cdot L_c + \mu \cdot a) + \frac{E_2[(\mu_c \cdot L_c + \mu \cdot a) \cdot (1 + (R/a)^2)^{1/2}]}{(1 + (R/a)^2)^{1/2}} + \frac{E_2[\mu \cdot a \cdot (1 + (R/a)^2)^{1/2}]}{(1 + (R/a)^2)^{1/2}} \right]$$

en remplaçant E_2 par son expression dans ϕ_0 , on aura:

$$\phi_b = \frac{S_v}{2 \cdot \mu_c} \left[\left[\frac{1}{(\mu a + 2)} + \frac{2}{(\mu a + 2)^3} \right] \cdot \exp(-\mu a) \left[\frac{1}{(\mu a + \mu_c L_c + 2)} + \frac{2}{(\mu a + \mu_c L_c + 2)^3} \right] \cdot \exp[-(\mu a + \mu_c L_c)] \right. \\ \left. \left[\frac{1}{[(\mu a + \mu_c L_c)(1 + (R/a)^2)^{1/2} + 2]} + \frac{2}{[(\mu a + \mu_c L_c)(1 + (R/a)^2)^{1/2} + 2]^3} \right] \frac{\exp[(\mu a + \mu_c L_c)(1 + (R/a)^2)^{1/2}]}{(1 + (R/a)^2)^{1/2}} \right. \\ \left. \left[\frac{1}{[\mu a \cdot (1 + (R/a)^2)^{1/2} + 2]} + \frac{2}{[\mu a \cdot (1 + (R/a)^2)^{1/2} + 2]^3} \right] \frac{\exp[-(\mu a \cdot (1 + (R/a)^2)^{1/2}) / (1 + (R/a)^2)^{1/2}]}{[1 + (R/a)^2]^{1/2}} \right]$$

ϕ_b étant une fonction de a_1 , sa résolution nécessite un calcul itératif, d'où on tire

$$a_1 = 175,56 \text{ cm}$$

VARIATION DE LA DOSE EXTERIEURE EN FONCTION DE L'EPAISSEUR DU BETON

DOSE (m rem/h)	EPAISSEUR DU BETON (cm)
1	175,56
0,9	176,50
0,8	177,54
0,7	178,73
0,6	180,10
0,5	181,71
0,4	183,69
0,3	186,24
0,2	189,85
0,1	196
0,01	216,5

IV-6-3- BLINDAGE AXIAL (partie haute) [FIG 22 , annexe1] :

Dans la partie thermohydraulique , on etait arrivé a la conclusion que notre réacteur ne peut pas etre du type piscine , pour cela , on est amené a pressuriser le circuit primaire , la pressurisation nécessitant un circuit fermé , on sera donc obligé de prévoir un couvercle constituant le blindage axial partie haute .

Le coeur du réacteur sera ainsi contenu dans une enceinte de confinement et immergé sous deux

metres d'eau , l'épaisseur du beton constituant le couvercle sera déterminée par le meme formalisme que celui du blindage de la partie basse , de facon à ce que le taux d'exposition a l'exterieur soit egal au maximum a 1 m rem/h .

$$\phi_b = \frac{S_v}{2 \cdot \mu_c} \left[E_2(\mu \cdot a) + E_2(\mu_c \cdot L_c + \mu \cdot a) + \frac{E_2[(\mu_c \cdot L_c + \mu \cdot a) \cdot (1 + (R/a)^2)^{1/2}]}{(1 + (R/a)^2)^{1/2}} + \frac{E_2[\mu \cdot a \cdot (1 + (R/a)^2)^{1/2}]}{(1 + (R/a)^2)^{1/2}} \right]$$

avec $a = a_1 + a_2 + a_3$ et $\mu \cdot a = \mu_1 \cdot a_1 + \mu_2 \cdot a_2 + \mu_3 \cdot a_3$

μ_1 : coefficient d'atténuation du beton précontraint ($\mu_1 = 0,1093 \text{ cm}^{-1}$)

a_1 : est l'épaisseur de la couche de beton a determiner

μ_2 : coefficient d'atténuation de l'eau ($\mu_2 = 0,275 \text{ cm}^{-1}$)

a_2 : profondeur d'immersion du coeur ($a_2 = 200 \text{ cm}$)

μ_3 : coefficient d'atténuation de la cuve en acier inoxydable ($\mu_3 = 0,237 \text{ cm}^{-1}$)

a_3 : épaisseur de la cuve ($a_3 = 10 \text{ cm}$)

μ_c : coefficient d'atténuation du coeur ($\mu_c = 0,059 \text{ cm}^{-1}$)

L_c : hauteur du coeur ($L_c = 140,43 \text{ cm}$)

en remplaçant E_2 par son expression dans ϕ_b , on aura:

$$\phi_b = \frac{S_v}{2 \cdot \mu_c} \left[\left[\frac{1}{(\mu a + 2)} + \frac{2}{(\mu a + 2)^3} \right] \cdot \exp(-\mu a) \left[\frac{1}{(\mu a + \mu_c \cdot L_c + 2)} + \frac{2}{(\mu a + \mu_c \cdot L_c + 2)^3} \right] \cdot \exp[-(\mu a + \mu_c \cdot L_c)] \right. \\ \left. \left[\frac{1}{[(\mu a + \mu_c \cdot L_c)(1 + (R/a)^2)^{1/2} + 2]} + \frac{2}{[(\mu a + \mu_c \cdot L_c)(1 + (R/a)^2)^{1/2} + 2]^3} \right] \frac{\exp[(\mu a + \mu_c \cdot L_c)(1 + (R/a)^2)^{1/2}]}{(1 + (R/a)^2)^{1/2}} \right. \\ \left. \left[\frac{1}{[\mu a \cdot (1 + (R/a)^2)^{1/2} + 2]} + \frac{2}{[\mu a \cdot (1 + (R/a)^2)^{1/2} + 2]^3} \right] \frac{\exp[-(\mu a \cdot (1 + (R/a)^2)^{1/2}]/(1 + (R/a)^2)^{1/2}}{[1 + (R/a)^2]^{1/2}} \right]$$

De la meme facon que précédemment , apres plusieurs iterations , l'équation converge vers une valeur de a, qui est :

$$a_1 = 135,38 \text{ cm}$$

VARIATION DE LA DOSE EXTERIEURE EN FONCTION DE L'EPAISSEUR DU
BETON

DOSE (m rem/h)	EPAISSEUR DU BETON (cm)
1	135,38
0,9	136,31
0,8	137,34
0,7	138,52
0,6	139,88
0,5	141,49
0,4	143,46
0,3	146
0,2	149,60
0,1	155,7
0,01	176,1

La figure 23 de l'annexe 1 donne l'évolution de la dose extérieure en fonction de l'épaisseur de la couche de béton pour les différents cas .

CONCLUSION

CONCLUSION :

Au terme de ce travail , nous pensons avoir apporté quelques éléments de dimensionnement d'un réacteur nucléaire d'une puissance de 200 Mwth destiné au dessalement d'eau de mer suivant le procede M.S.F.

On peut envisager également le couplage du reacteur avec une unite de dessalement suivant un autre procédé appelé M.E.D ou le combiner avec une centrale thermoelectrique.

Les resultats obtenus dans le cadre de ce projet , notamment les caractéristiques thermohydraulique de fonctionnement du réacteur sont en bon accord avec ceux de l'universite TSINGHUA [5] pour le réacteur H.R.200 .

En dehors de ces éléments de dimensionnement apportés dans le cadre de ce projet et , pour completer ce travail , il est interessant de faire une etude sur :

- l'aspect résistance des matériaux de la cuve du réacteur et des accessoires supportant le combustible ;
- l'aspect dimensionnement des échangeurs de chaleur et des cellules de l'unité M.S.F afin de s'assurer que les gouttelettes de saumure qui se détachent a la surface ne sont pas emportées par la vapeur vers le réservoir d'eau pouvant nuire ainsi a la qualite d'eau obtenue .

ANNEXE I

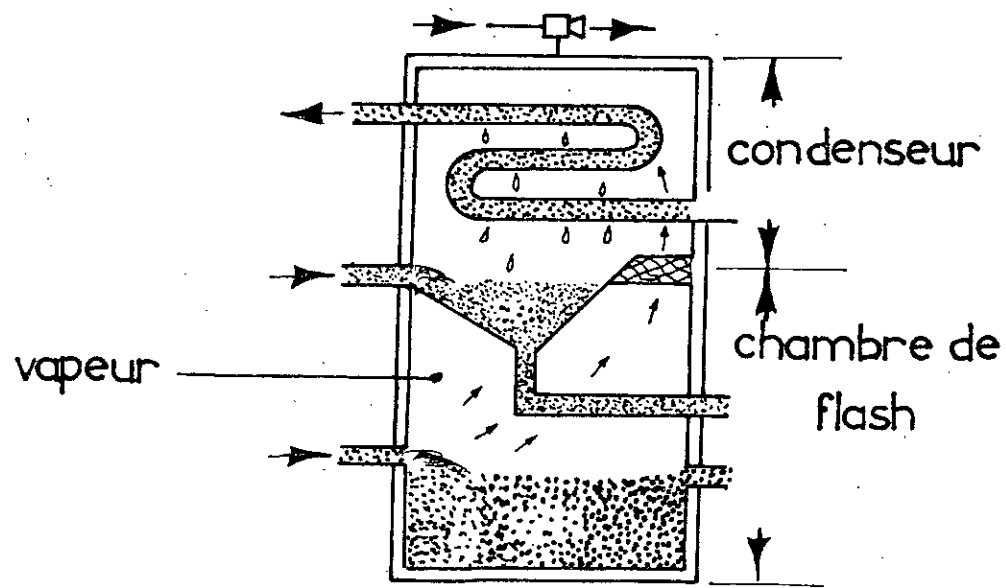
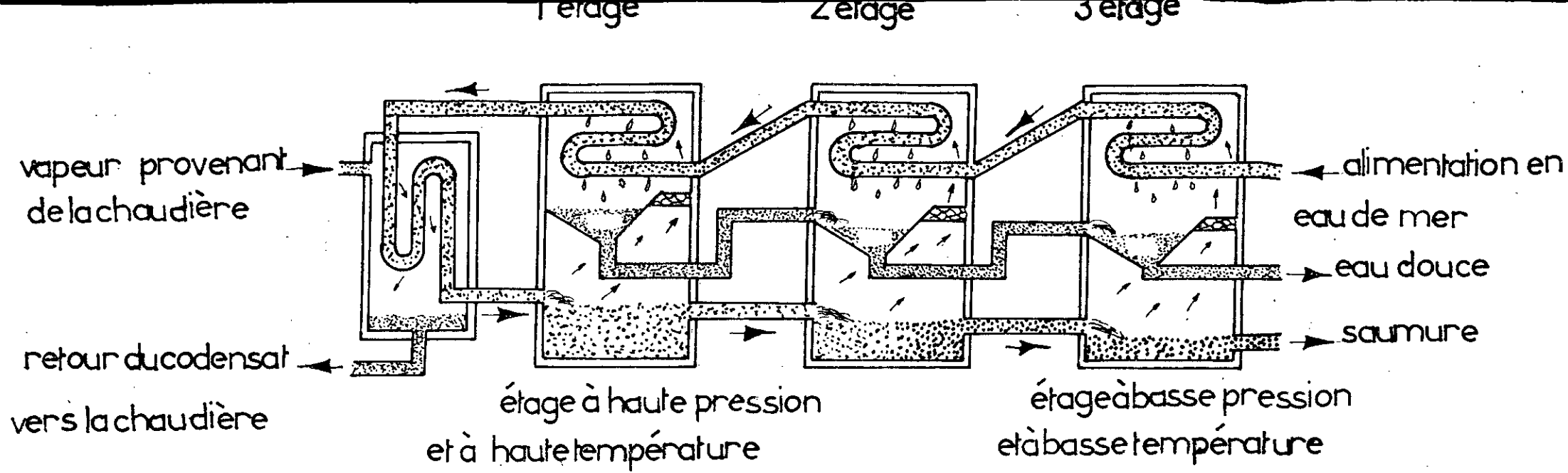


FIGURE 1: DIAGRAMME CONCEPTUEL DU MULTIFLASH

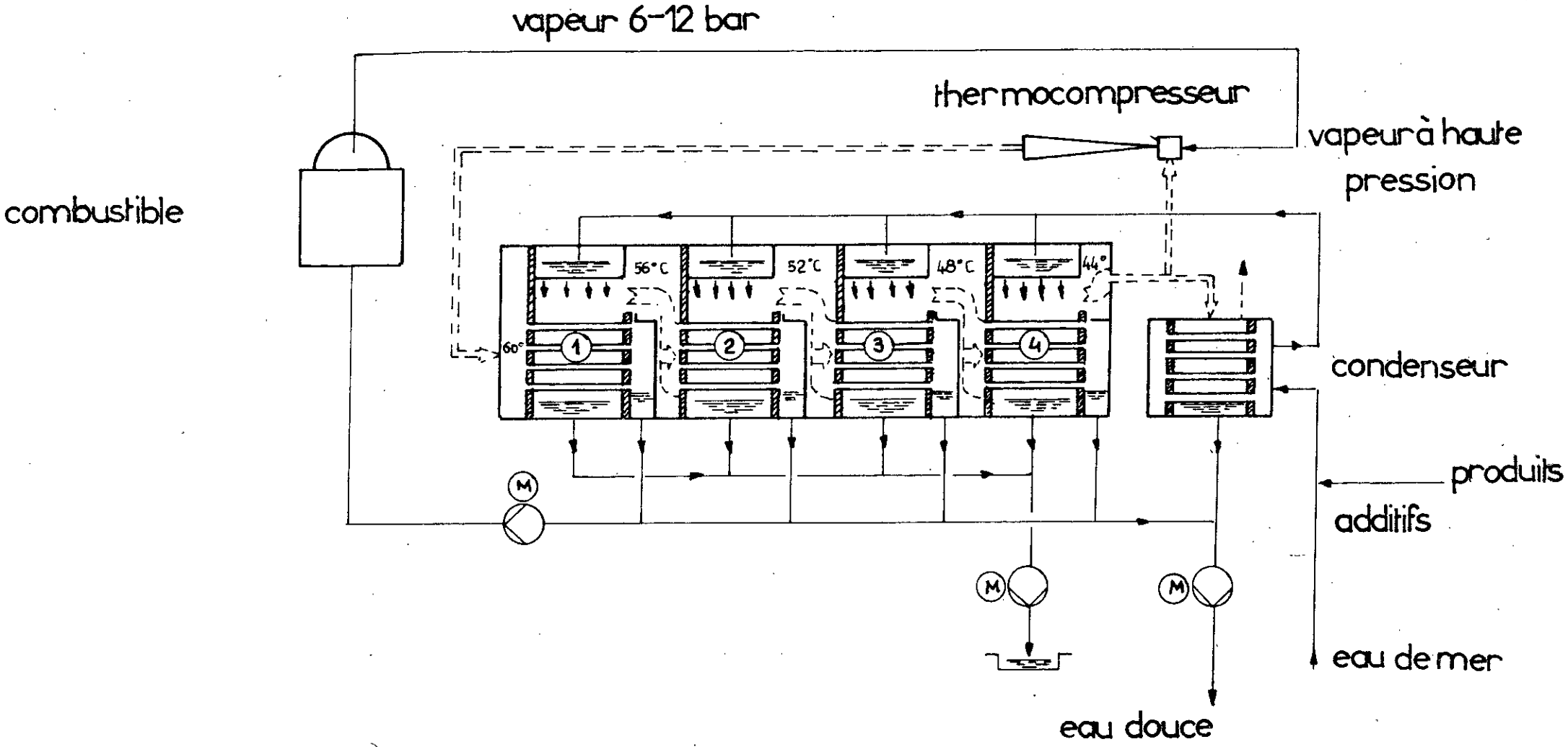


FIGURE 2: PRINCIPE DE BASE DE LA DISTILLATION A EFFETS MULTIPLES
 COMBINEE AVEC LA COMPRESSION DE VAPEUR

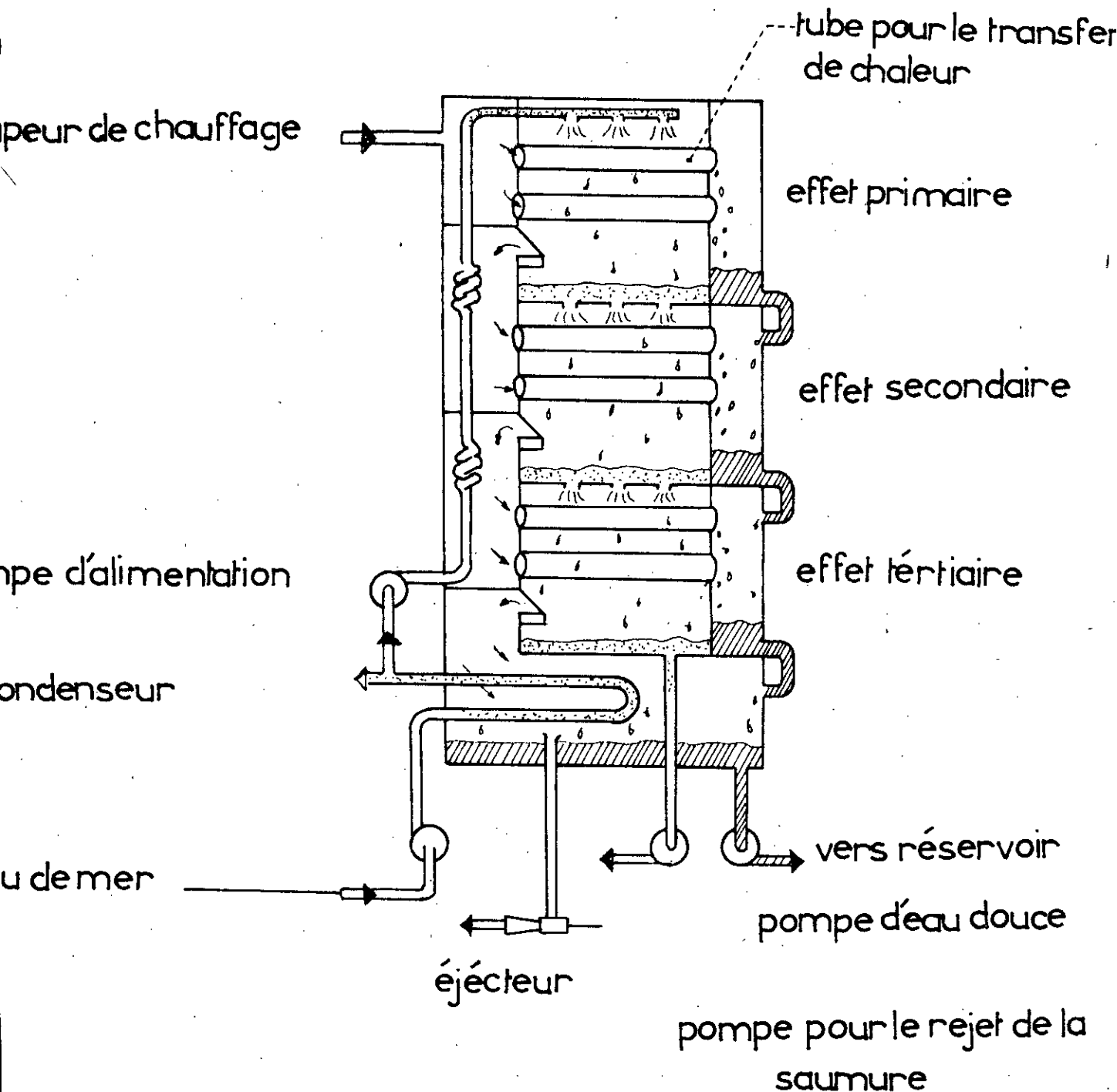


FIGURE 4: DISTILLATION A EFFETS MULTIPLES
 AVEC
 EVAPORATEUR A TUBES HORIZONTAUX

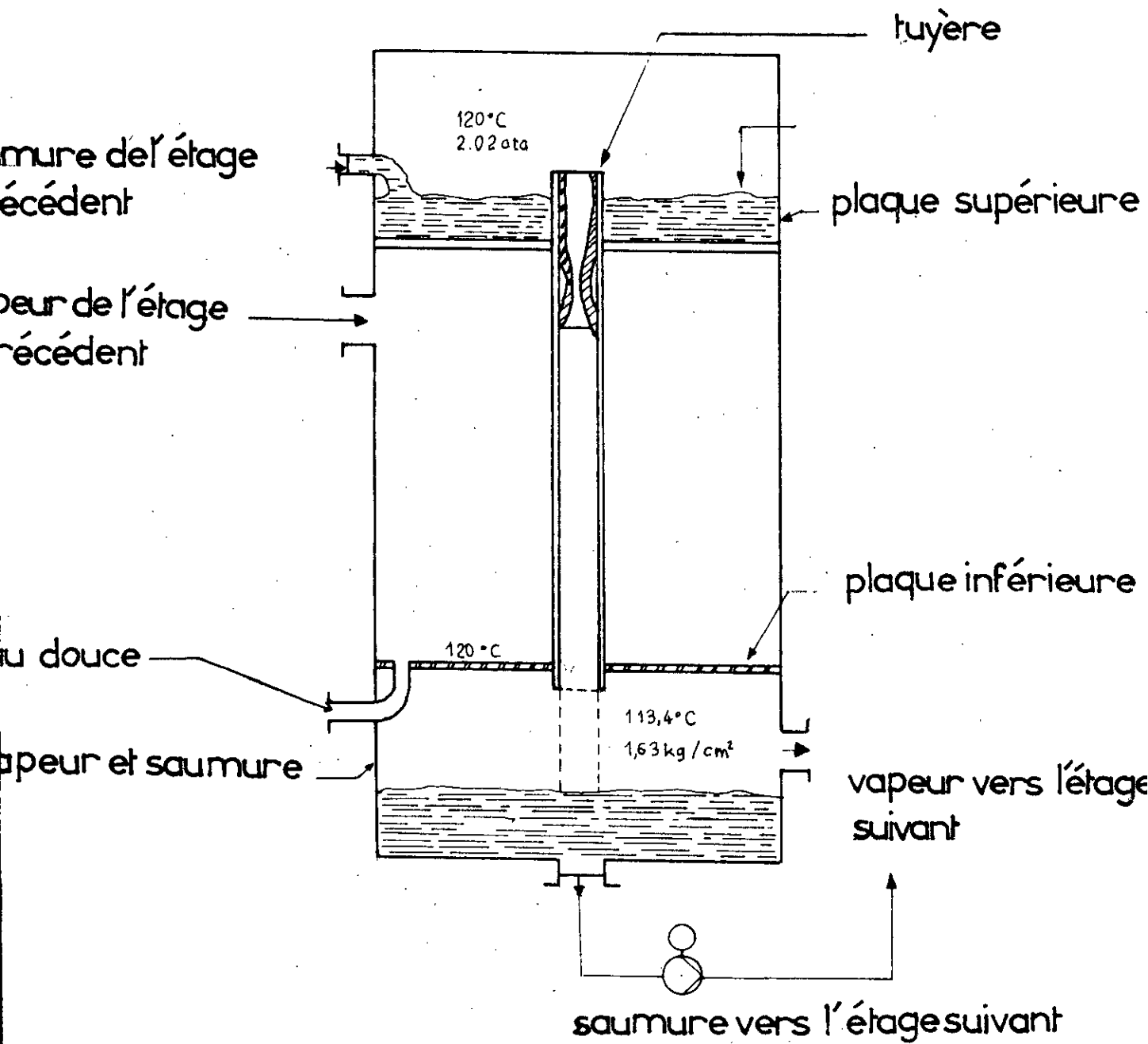


FIGURE 5: EVAPORATEUR A CHUTE D'EAU
 PRINCIPE DE BASE D'UN ETAGE

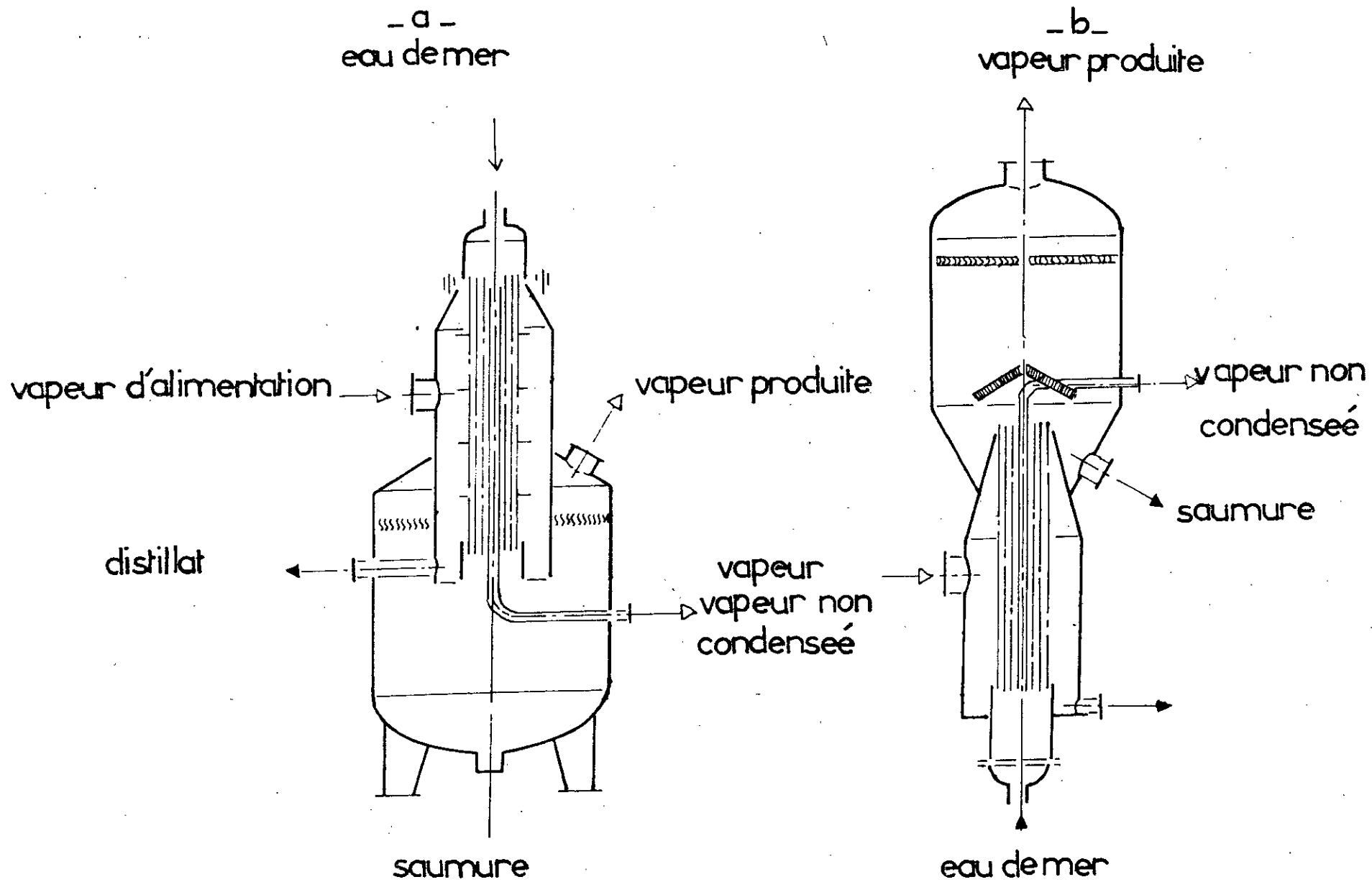


FIG6:EVAPORATEURS A CHUTE ET A MOUVEMENT ASCENSIONNEL D'EAU

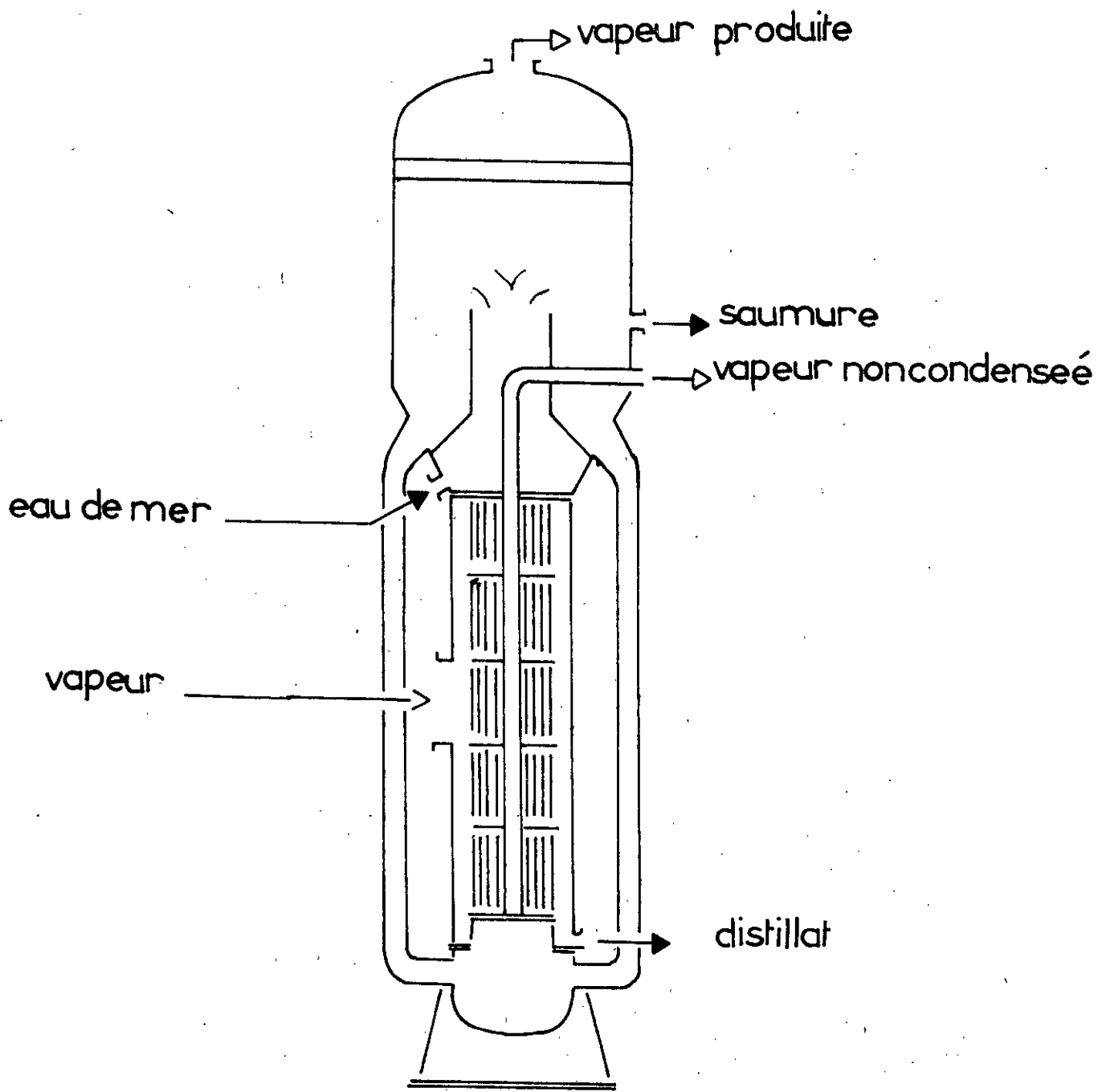
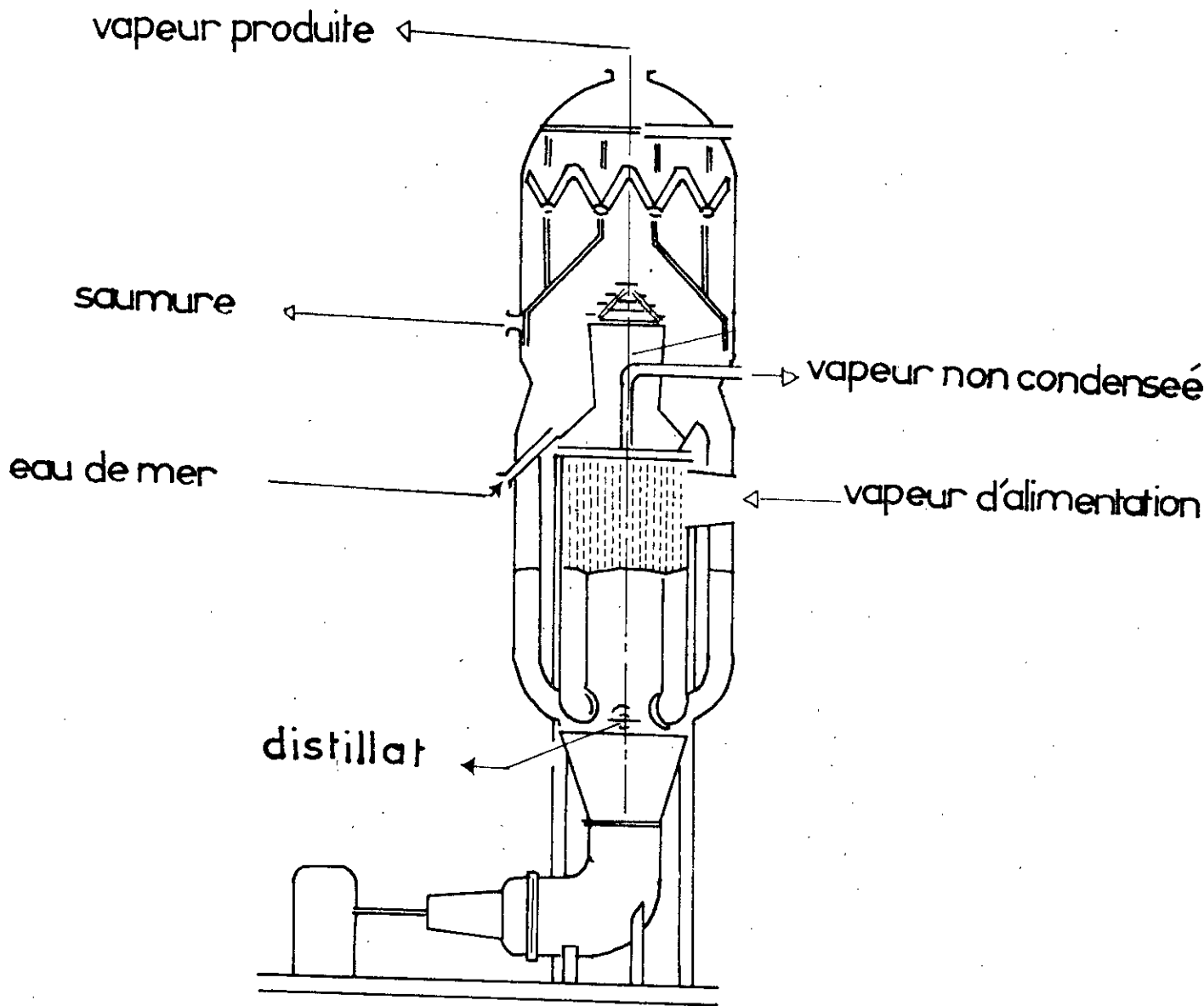
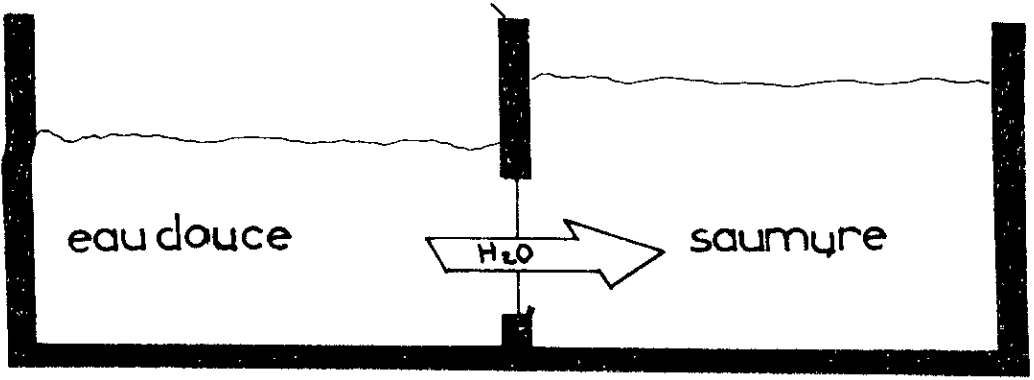


FIGURE 7: EVAPORATEUR A CIRCULATION NATURELLE



EVAPORATEUR A CIRCULATION FORCEE
 FIGURE 8

membrane semi-perméable



OSMOSE

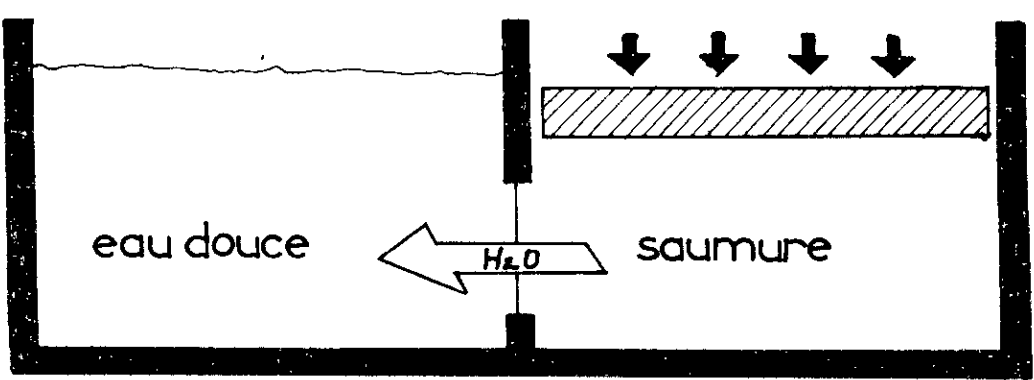


FIGURE 9: OSMOSE INVERSE

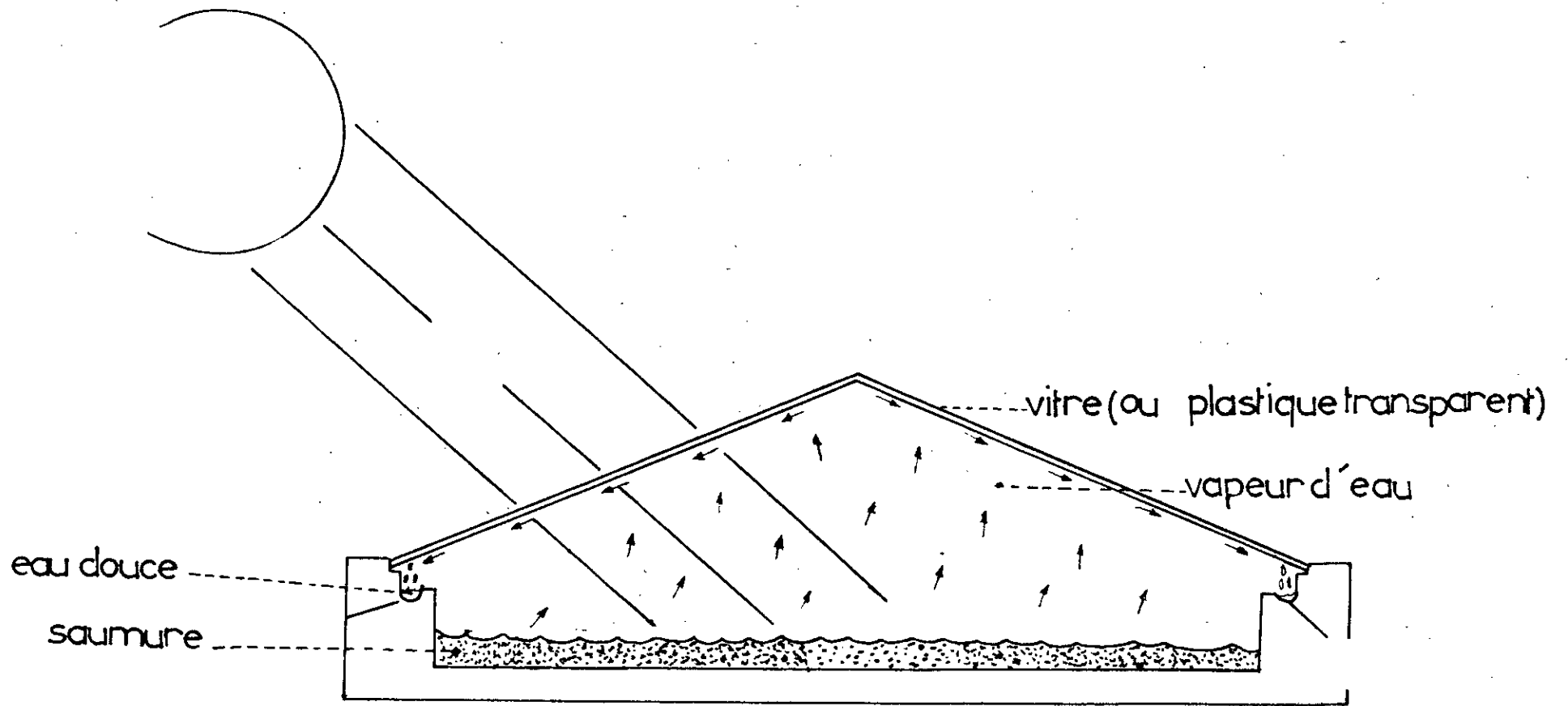
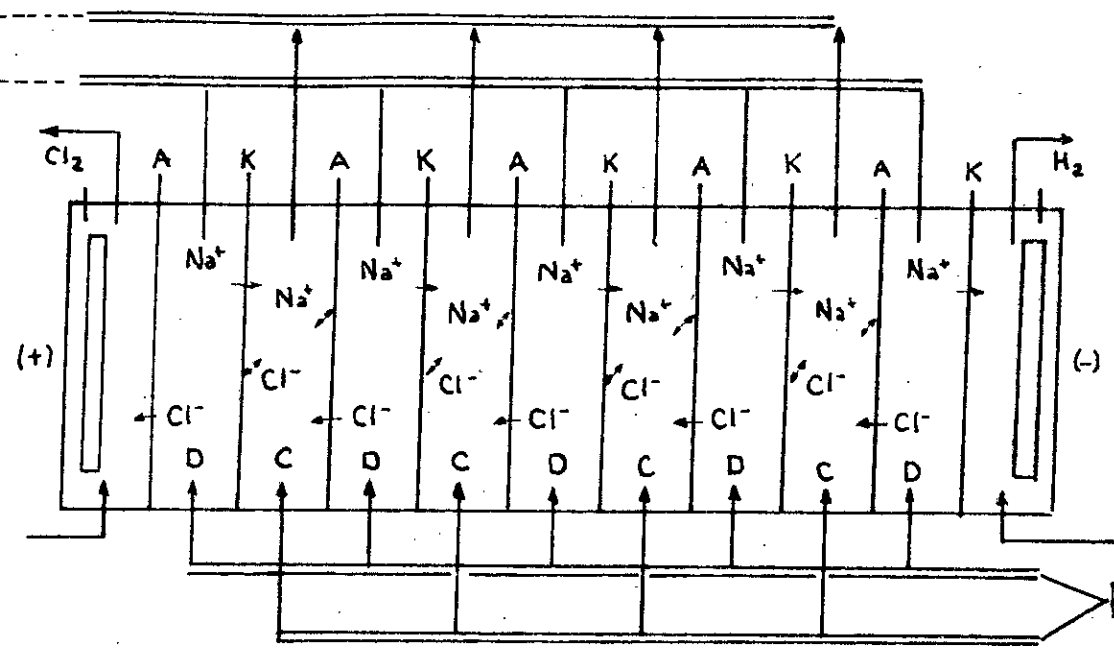


FIGURE 10: SCHEMA DE BASE DE LA DISTILLATION SOLAIRE

sortie d'eau salé concentré
 sortie d'eau douce

entrée solution dans la
 chambre (anode)

prise d'eau de mer



membrane d'échange de
 cations

membrane d'échange
 de cations

membrane d'échange d'anions

FIGURE 11: PRINCIPE DE BASE DE L'ELECTRODIALYSE

FIGURE 12: CRAYON ET ASSEMBLAGE

COMBUSTIBLE

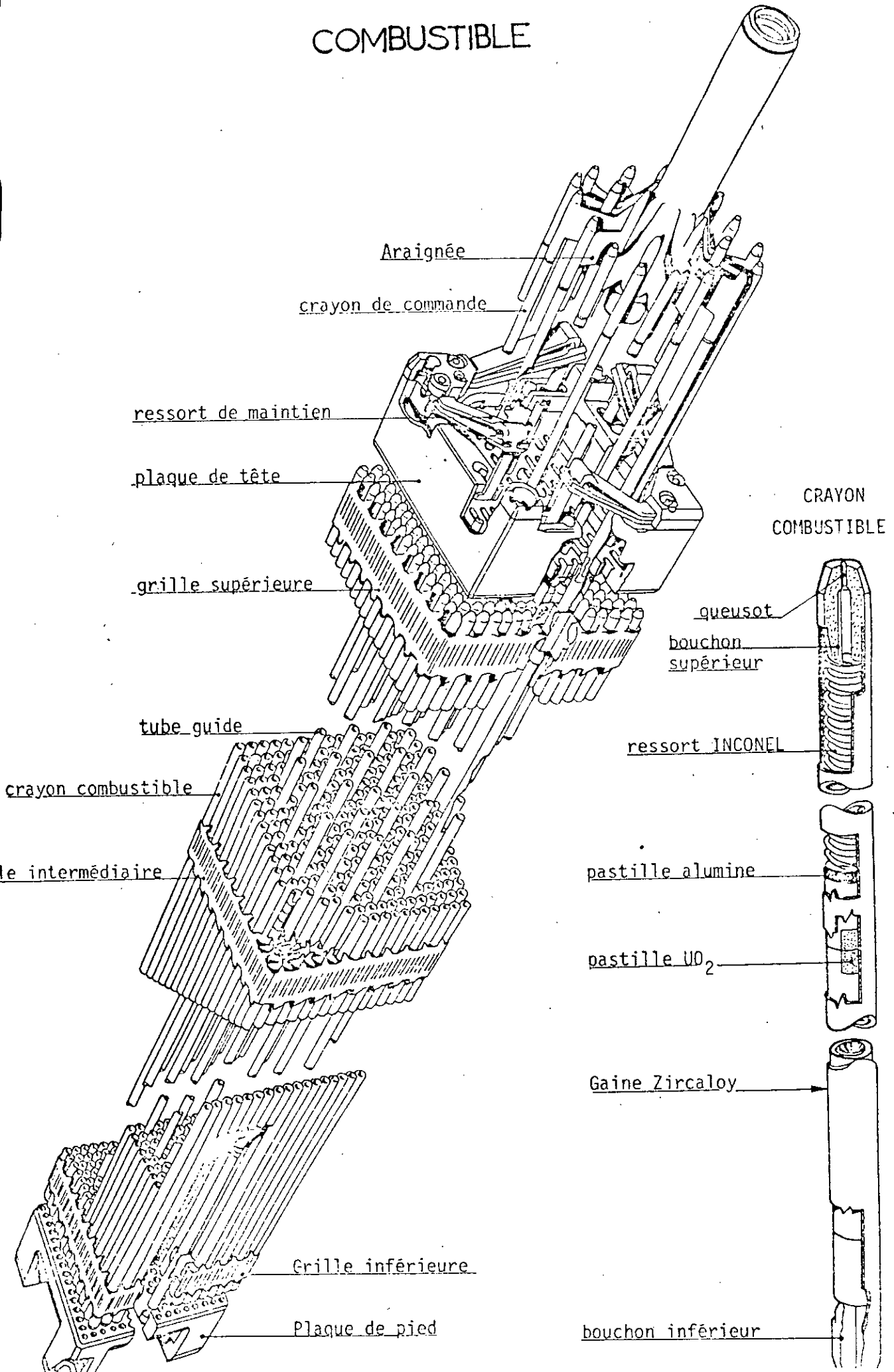
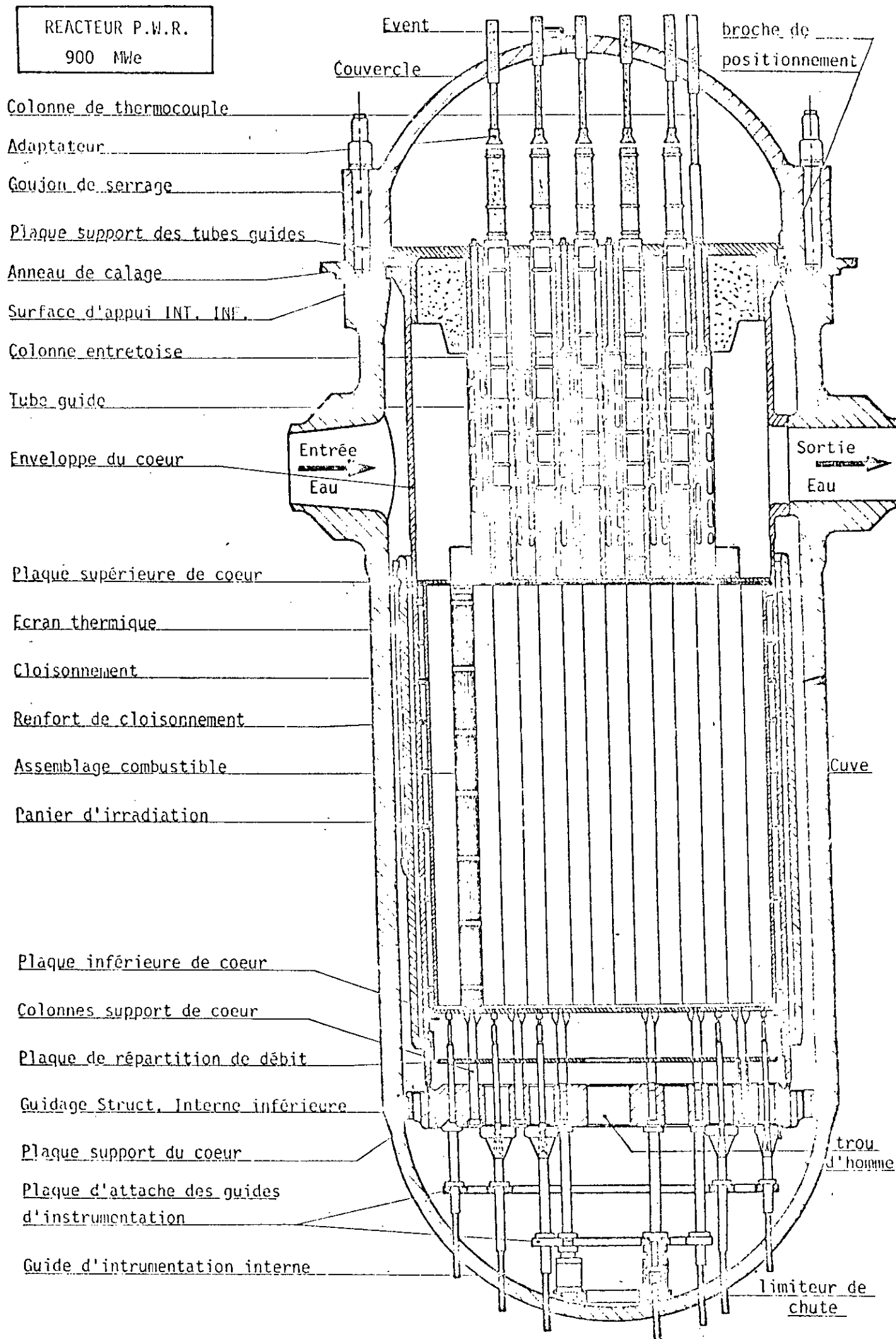
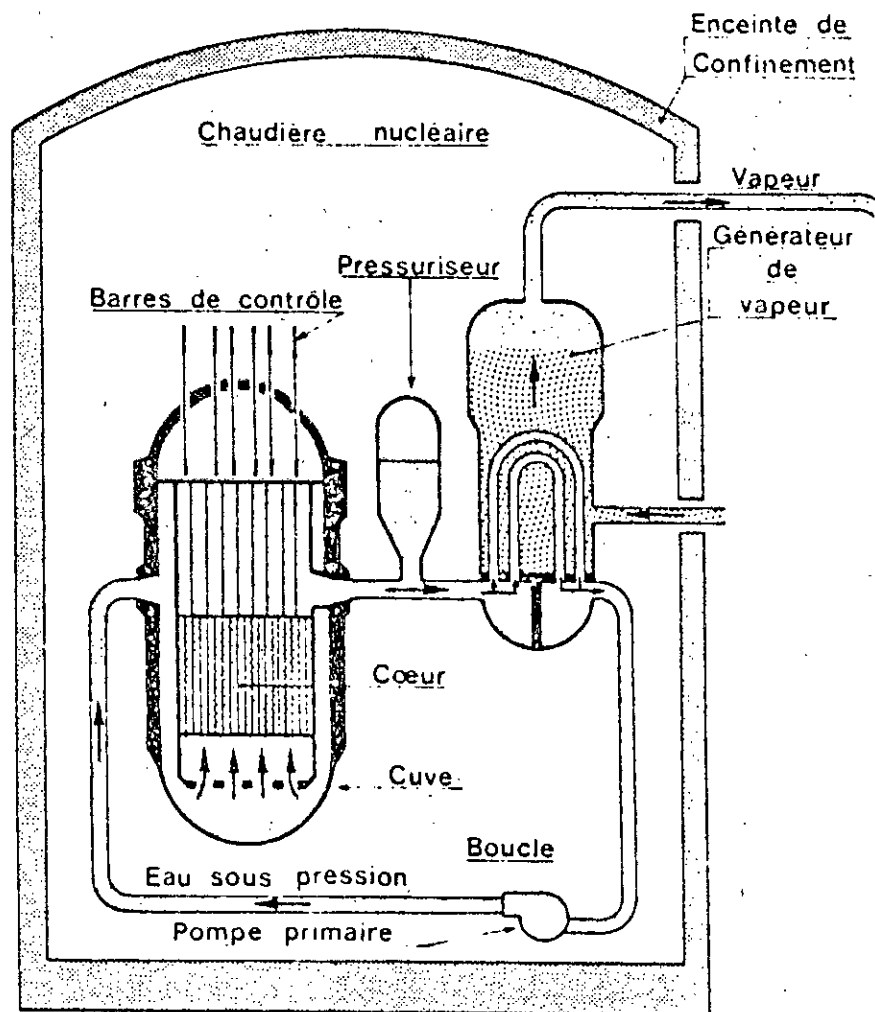


FIGURE 13: CUVE DU REACTEUR








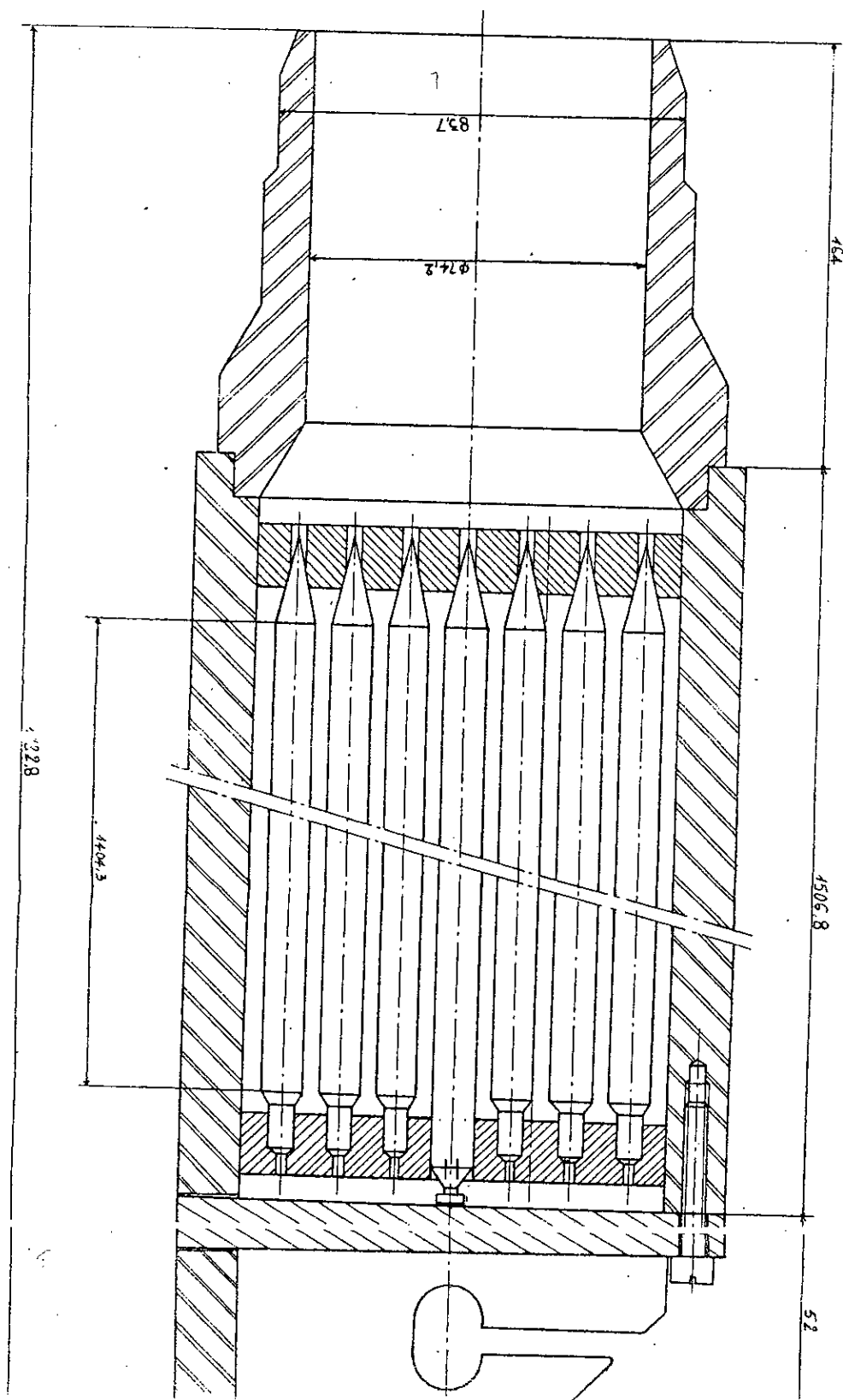
-  Circuit primaire
-  Circuit secondaire (eau-vapeur)
-  Circuit de refroidissement

FIGURE 14: ENCEINTE DE CONFINEMENT

FIGURE 19 GEOMETRIE DES CANAUX D'UN ASSEMBLAGE COMBUSTIBLE



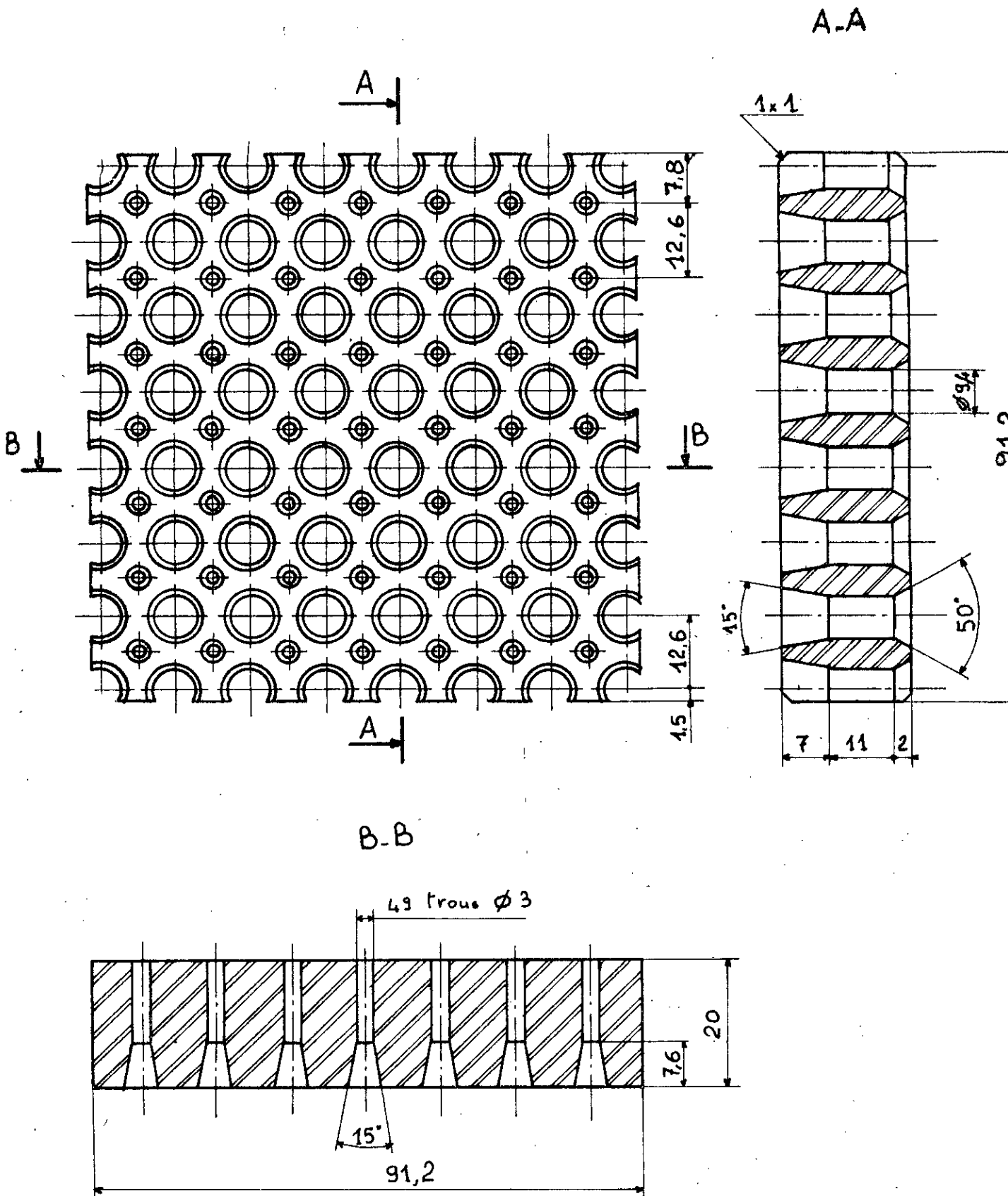


FIGURE 16: GRILLE INFERIEURE

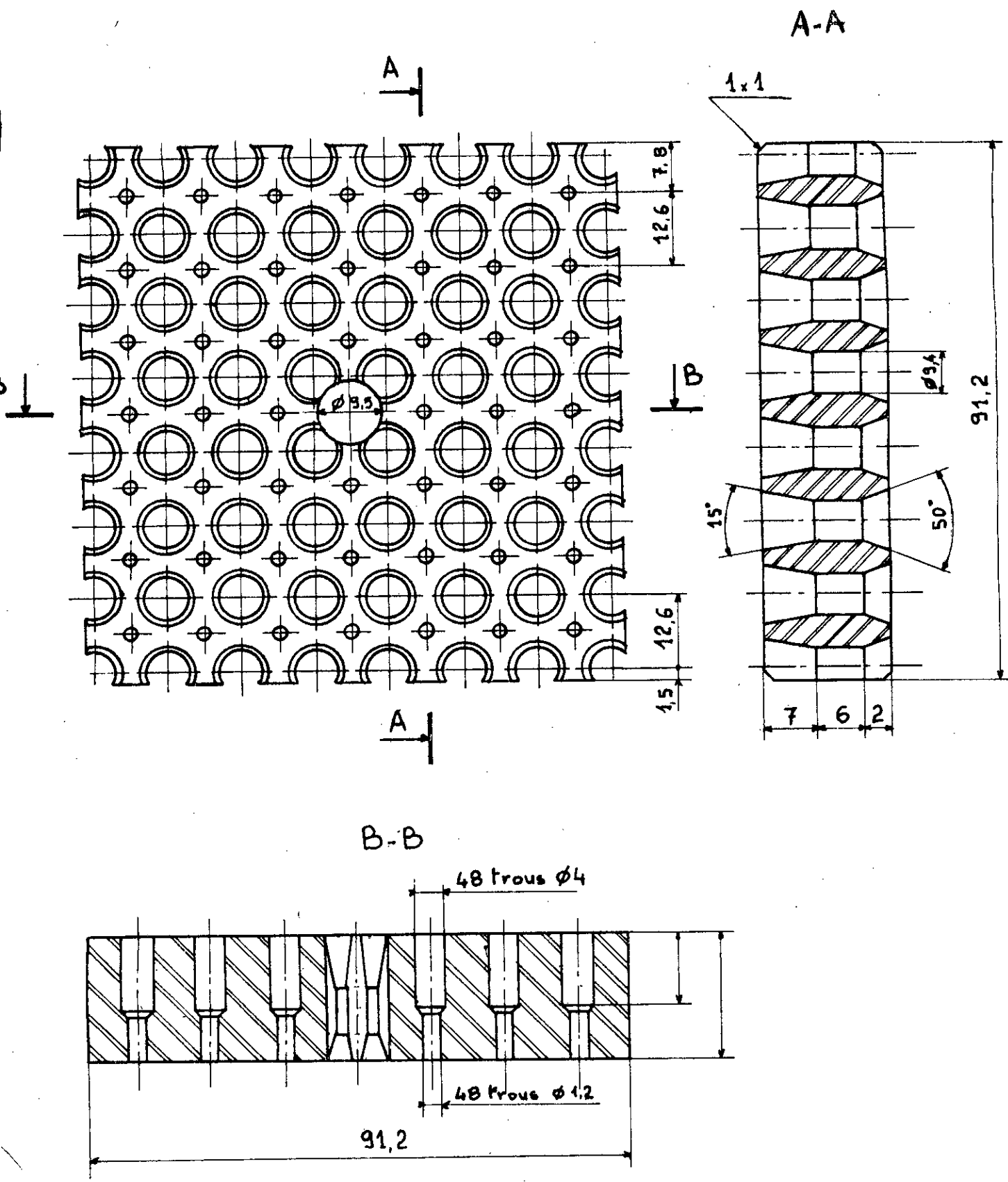


FIGURE 17: GRILLE SUPERIEURE

T_c : TEMPERATURE DU COMBUSTIBLE
T_g : TEMPERATURE DE LA GAINÉ
T : TEMPERATURE DU FLUIDE CALOPORTEUR

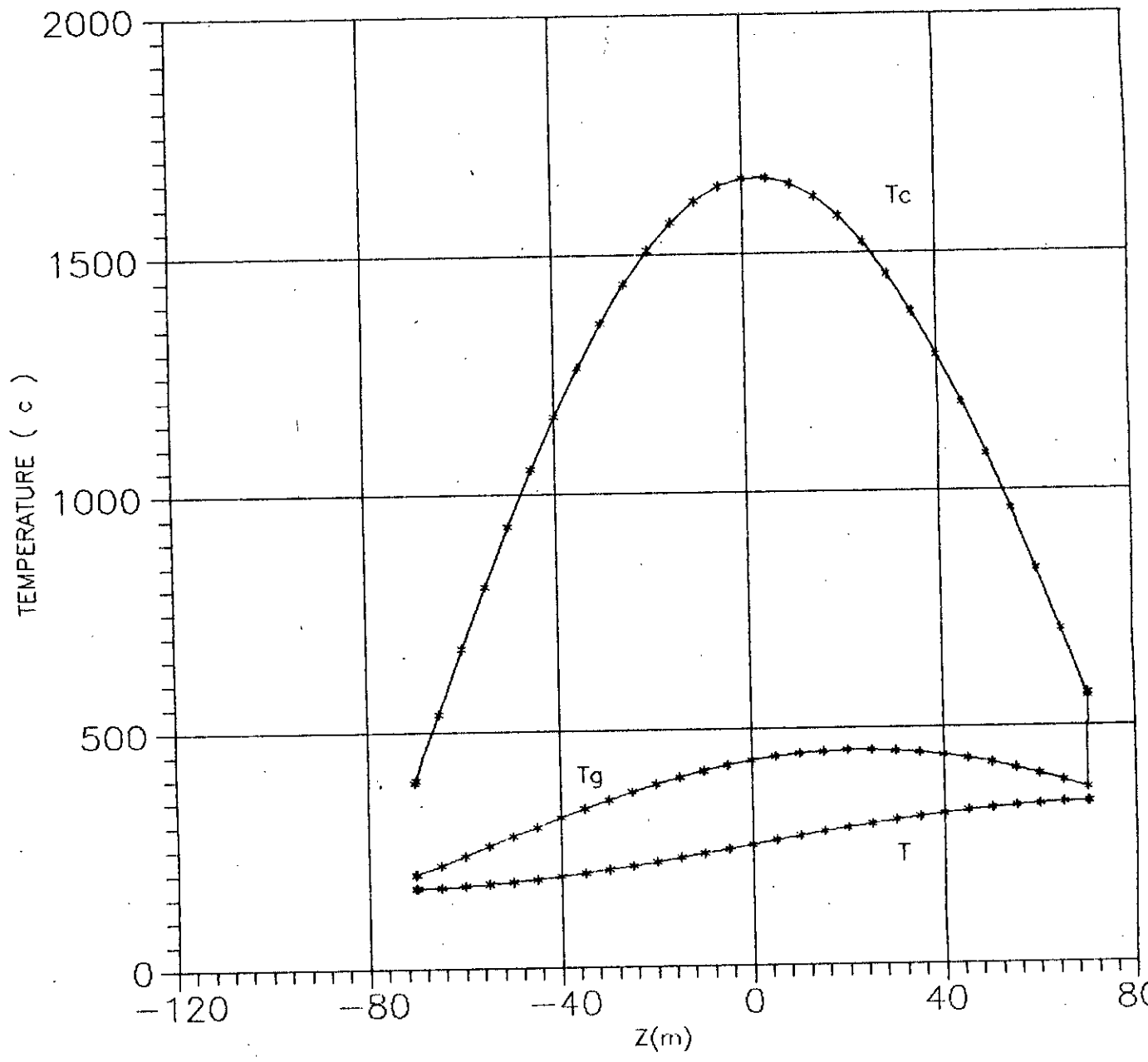


fig 18: EVOLUTION DE LA TEMPERATURE EN CONVECTION NATURELLE

T_c : TEMPERATURE DU COMBUSTIBLE
T_g : TEMPERATURE DE LA GAINÉ
T : TEMPERATURE DU FLUIDE CALOPORTEUR

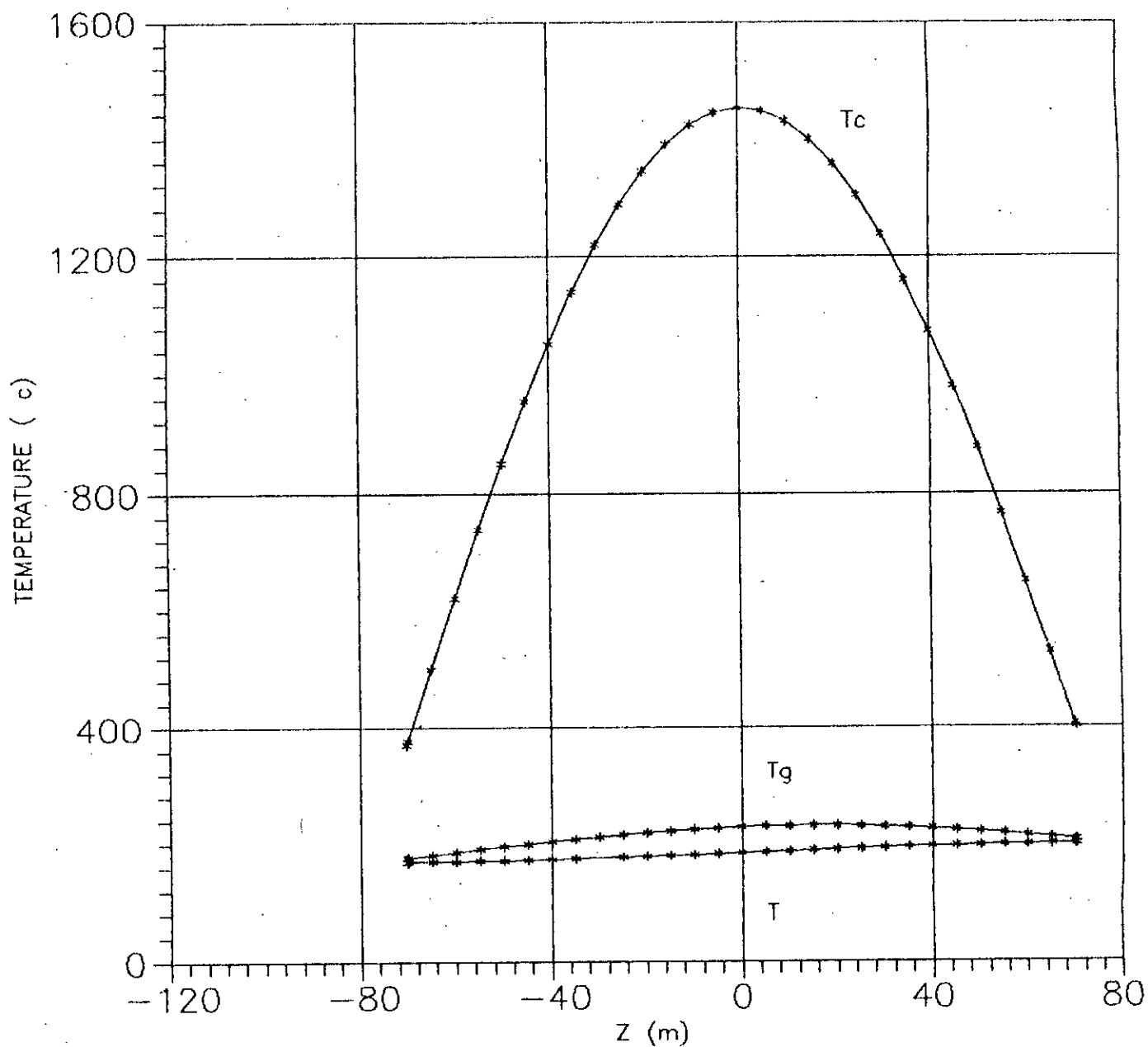


fig19:EVOLUTION DE LA TEMPERATURE EN CONVECTION FORCEE

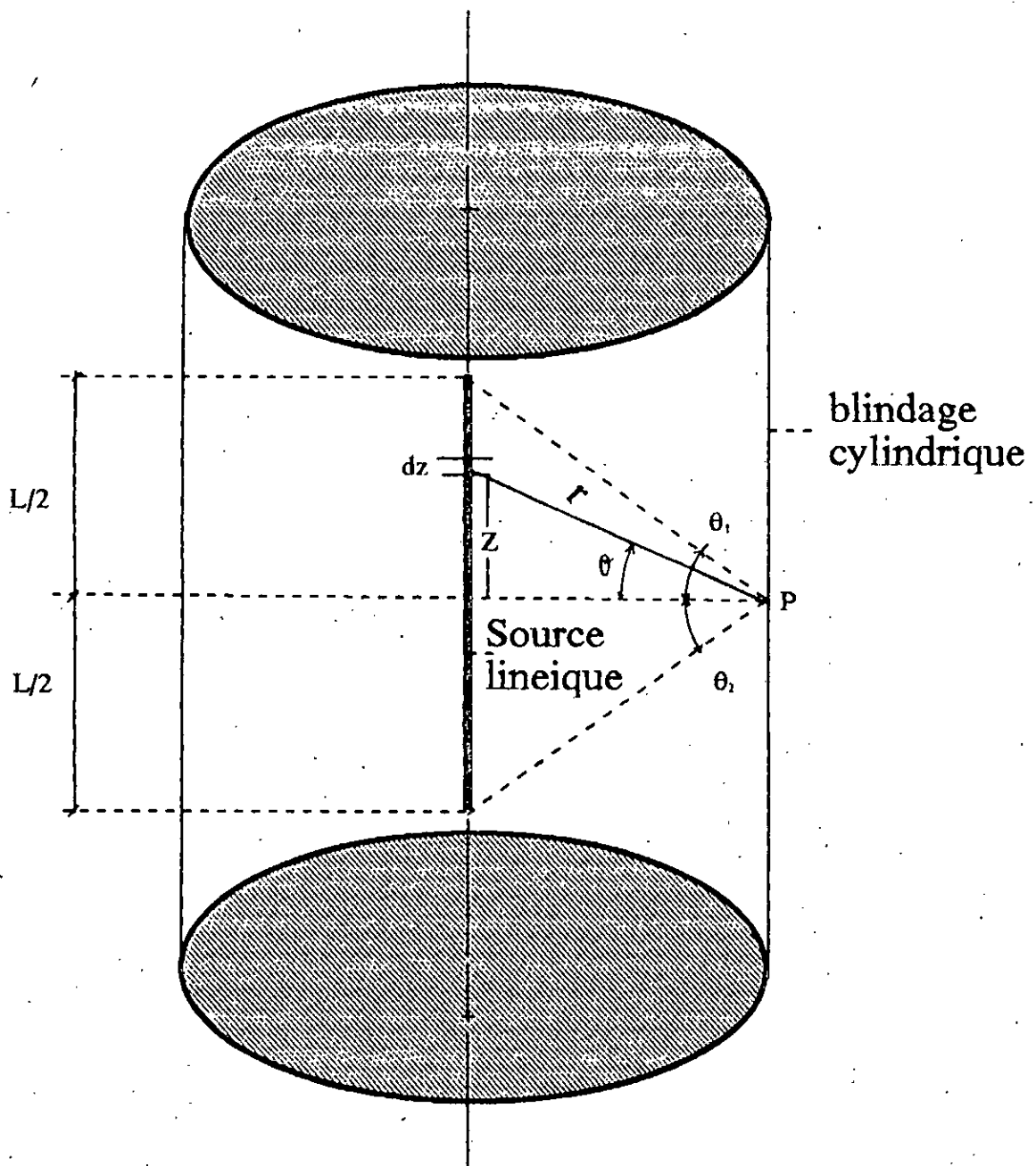


FIGURE 20 : SOURCE LINEIQUE ISOTROPIQUE AVEC BLINDAGE CYLINDRIQUE

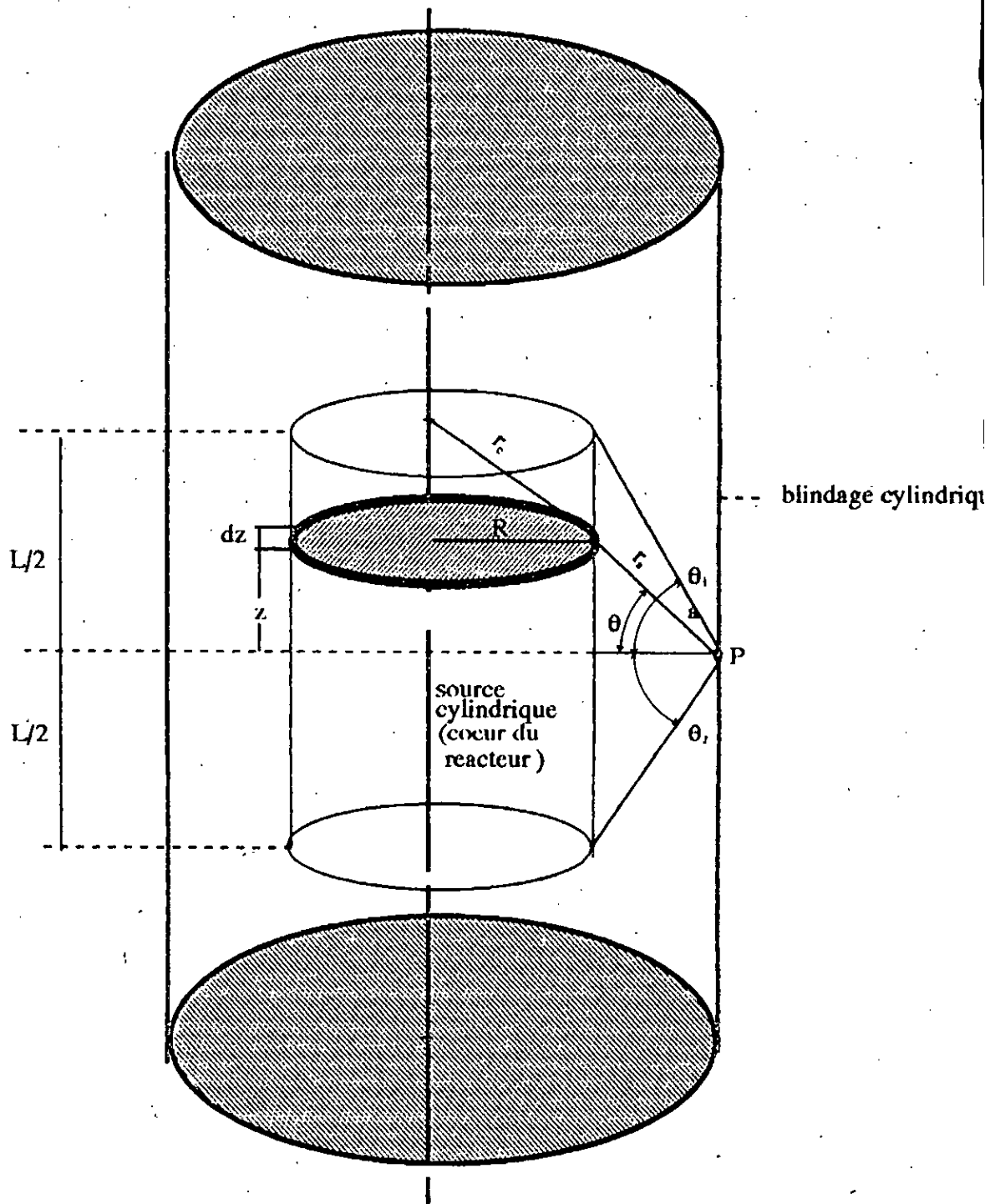


FIGURE 21 : SOURCE VOLUMIQUE ISOTROPIQUE AVEC BLINDAGE CYLINDRIQUE

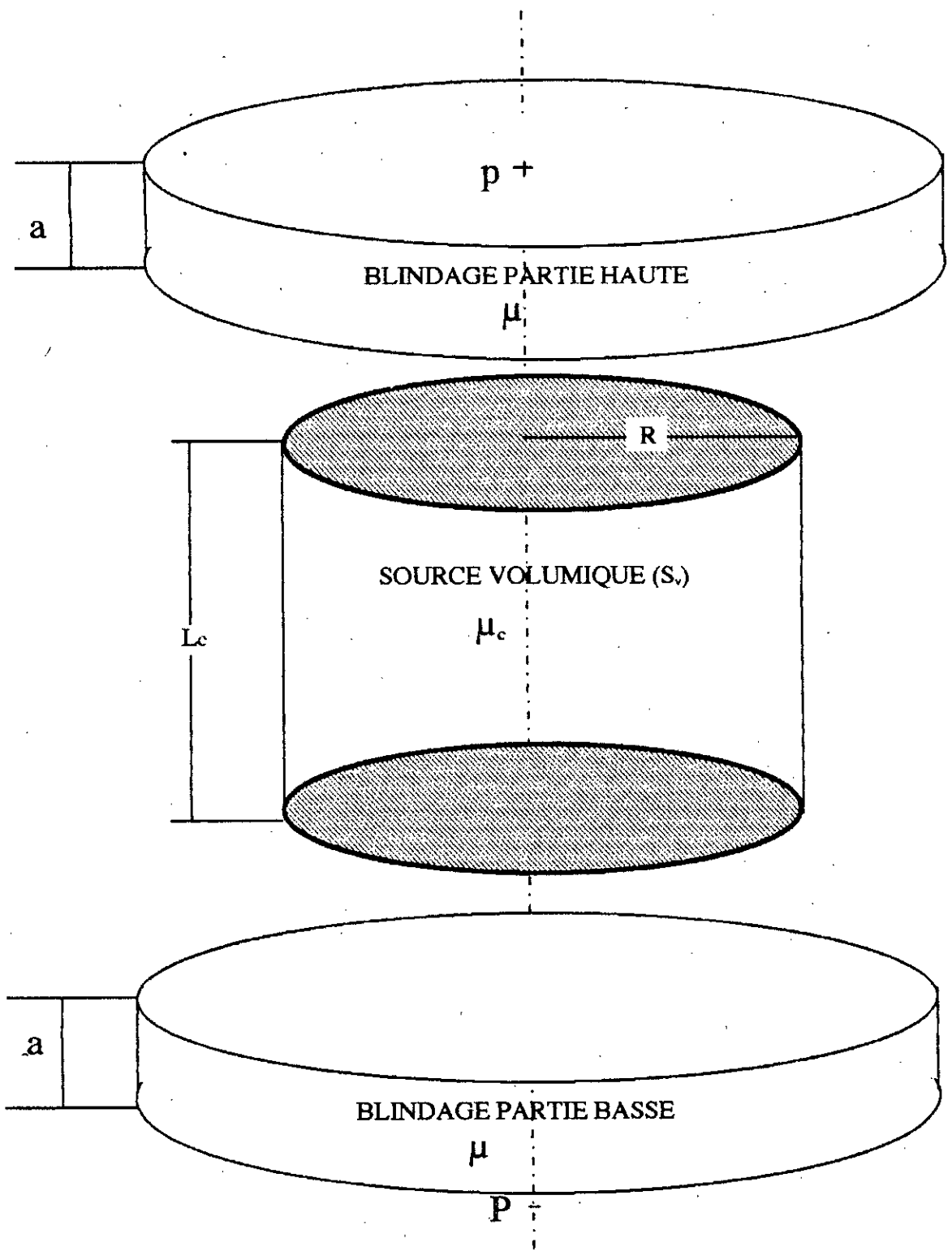


FIGURE 22 : SCHEMA DU BLINDAGE AXIAL (PARTIE HAUTE ET BASSE)

- 1 : BLINDAGE RADIAL
- 2 : BLINDAGE AXIAL PARTIE HAUTE
- 3 : BLINDAGE AXIAL PARTIE BASSE

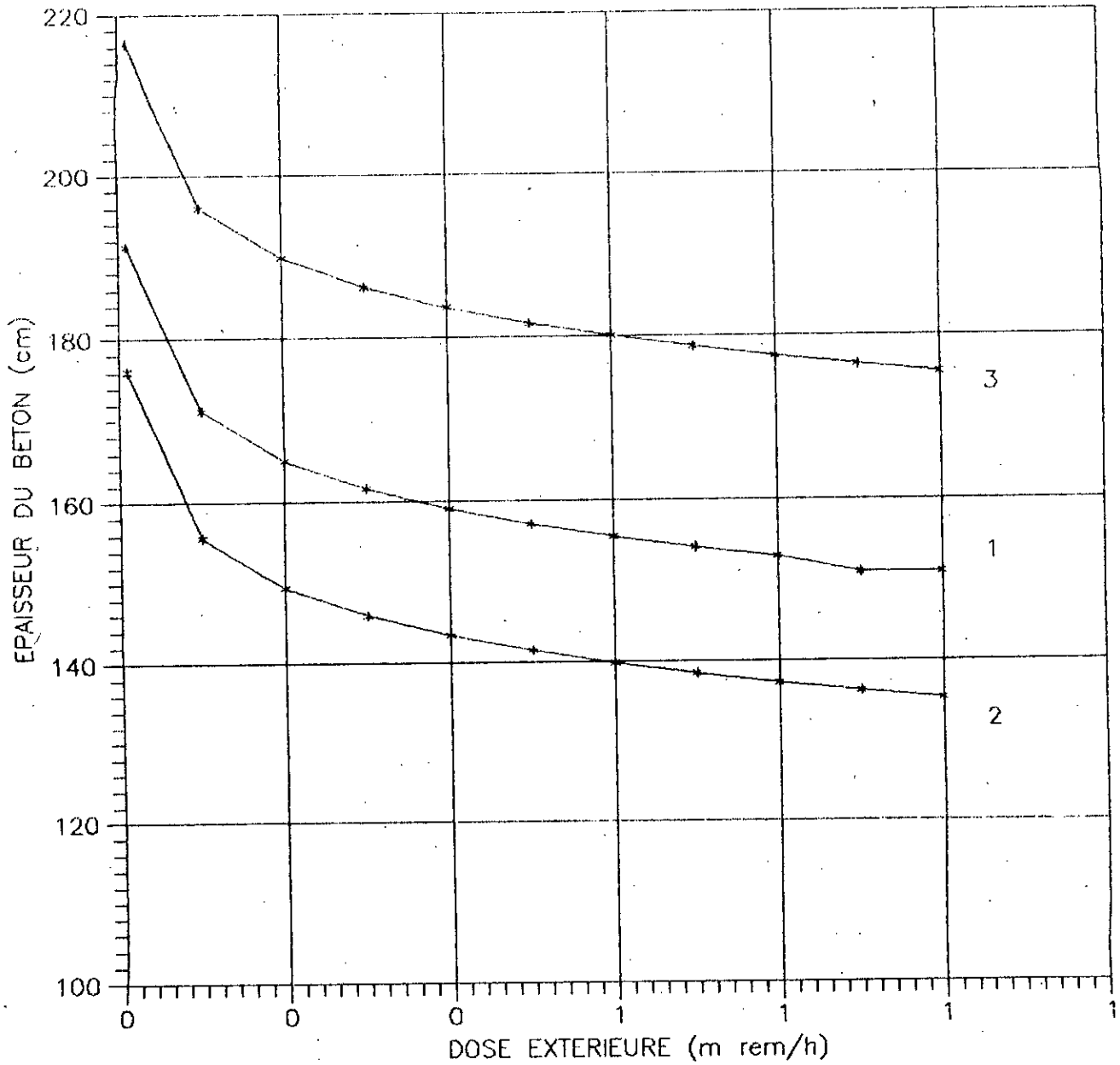


fig23: VARIATION DE LA DOSE EXTERIEURE EN FONCTION DE L'EPAISSEUR DU BETON

ANNEXE II

Dans cette annexe :

Les feuilles numerotees 1 sont pour l'enrichissement $x = 2,1 \%$

Les feuilles numerotees 2 sont pour l'enrichissement $x = 2,6 \%$

Les feuilles numerotees 3 sont pour l'enrichissement $x = 2,8 \%$

Les feuilles numerotees 4 sont pour l'enrichissement $x = 3,2 \%$

EDIT PROGRAM WIMS

ZONE	RADIUS	VOLUME	MATERIAL
	0.		
1	0.20475E+00	0.13170E+00	1
2	0.28956E+00	0.13170E+00	1
3	0.35464E+00	0.13170E+00	1
4	0.40950E+00	0.13170E+00	1
5	0.41800E+00	0.22097E-01	4
6	0.47500E+00	0.15991E+00	2
7	0.54365E+00	0.21970E+00	3
8	0.60456E+00	0.21970E+00	3
9	0.65986E+00	0.21970E+00	3
10	0.71088E+00	0.21970E+00	3

①

FLUX SCALE FACTOR 1.463135E+00

FEW-GROUP REGIONAL AND CELL EDIT

CROSS-SECTIONS, INTEGRATED AND AVERAGED FLUXES, TOTAL EVENTS

REGION 1 MATERIAL 1 VOLUME 5.268145E-01

GROUP	CROSS-SECTIONS		NU*FISSION	FLUXES		D*FLUX*VOL	REACTIONS	
	DIFFUSION	ABSORPTION		RIF	RAF		ABSORPTIONS	NU*FISSIONS
1	2.43005E+00	1.03781E-02	2.59787E-02	3.23139E+00	6.13384E+00	7.85246E+00	3.35358E-02	8.39474E-02
2	1.19058E+00	7.19730E-03	2.07232E-03	3.96572E+00	7.52774E+00	4.72152E+00	2.85425E-02	8.21826E-03
3	6.43668E-01	6.10322E-02	2.83046E-02	3.25976E+00	6.18768E+00	2.09820E+00	1.98950E-01	9.22660E-02
4	6.43191E-01	2.51735E-01	4.34659E-01	2.57177E+00	4.88173E+00	1.65414E+00	6.47404E-01	1.11784E+00
THERMAL	6.43458E-01	1.45134E-01	2.07511E-01	5.83152E+00	1.10694E+01	3.75234E+00	8.46354E-01	1.21011E+00
TOTAL	1.25311E+00	6.97258E-02	9.99547E-02	1.30286E+01	2.47310E+01	1.63263E+01	9.08432E-01	1.30227E+00

REGION 2 MATERIAL 4 VOLUME 2.209720E-02

GROUP	CROSS-SECTIONS		NU*FISSION	FLUXES		D*FLUX*VOL	REACTIONS	
	DIFFUSION	ABSORPTION		RIF	RAF		ABSORPTIONS	NU*FISSIONS
1	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.31315E-01	5.94260E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
2	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.63976E-01	7.42069E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
3	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.38293E-01	6.25841E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
4	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.12652E-01	5.09801E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
THERMAL	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.50945E-01	1.13564E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
TOTAL	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	5.46236E-01	2.47197E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

REGION 3 MATERIAL 2 VOLUME 1.599102E-01

GROUP	CROSS-SECTIONS		NU*FISSION	FLUXES		D*FLUX*VOL	REACTIONS	
	DIFFUSION	ABSORPTION		RIF	RAF		ABSORPTIONS	NU*FISSIONS
1	2.52697E+00	4.93972E-04	0.00000E+00	9.38699E-01	5.87016E+00	2.37207E+00	4.63691E-04	0.00000E+00
2	1.25833E+00	3.64324E-04	0.00000E+00	1.18000E+00	7.37917E+00	1.48483E+00	4.29903E-04	0.00000E+00
3	1.31023E+00	3.74277E-03	0.00000E+00	1.00456E+00	6.28202E+00	1.31620E+00	3.75984E-03	0.00000E+00
4	1.26106E+00	4.89241E-03	0.00000E+00	8.25772E-01	5.16397E+00	1.04135E+00	4.04002E-03	0.00000E+00
THERMAL	1.28804E+00	4.26144E-03	0.00000E+00	1.83033E+00	1.14460E+01	2.35755E+00	7.79985E-03	0.00000E+00
TOTAL	1.57366E+00	2.20141E-03	0.00000E+00	3.94903E+00	2.46953E+01	6.21445E+00	8.69345E-03	0.00000E+00

REGION 4 MATERIAL 3 VOLUME 8.787832E-01

GROUP	CROSS-SECTIONS		NU*FISSION	FLUXES		D*FLUX*VOL	REACTIONS	
	DIFFUSION	ABSORPTION		RIF	RAF		ABSORPTIONS	NU*FISSIONS
1	2.24870E+00	4.59066E-04	0.00000E+00	5.02414E+00	5.71715E+00	1.12978E+01	2.30641E-03	0.00000E+00
2	7.84550E-01	2.17846E-07	0.00000E+00	6.38997E+00	7.27138E+00	5.01325E+00	1.39203E-06	0.00000E+00
3	5.62524E-01	8.94373E-04	0.00000E+00	5.57312E+00	6.34186E+00	3.13501E+00	4.98445E-03	0.00000E+00
4	1.83637E-01	1.59395E-02	0.00000E+00	4.74182E+00	5.39589E+00	8.70771E-01	7.55820E-02	0.00000E+00
THERMAL	3.88348E-01	7.81066E-03	0.00000E+00	1.03149E+01	1.17377E+01	4.00578E+00	8.05664E-02	0.00000E+00
TOTAL	9.35007E-01	3.81399E-03	0.00000E+00	2.17290E+01	2.47263E+01	2.03168E+01	8.28742E-02	0.00000E+00

CELL VOLUME 1.587605E+00

GROUP	CROSS-SECTIONS		NU*FISSION	FLUXES		D*FLUX*VOL	REACTIONS	
	DIFFUSION	ABSORPTION		RIF	RAF		ABSORPTIONS	NU*FISSIONS
1	2.30789E+00	3.89317E-03	9.00188E-03	9.32554E+00	5.87397E+00	2.15223E+01	3.63059E-02	8.39474E-02
2	9.58968E-01	2.47646E-03	7.02435E-04	1.16997E+01	7.36938E+00	1.12196E+01	2.89738E-02	8.21826E-03
3	6.56535E-01	2.08200E-02	9.24905E-03	9.97573E+00	6.28351E+00	6.54942E+00	2.07694E-01	9.22660E-02
4	4.32168E-01	8.81029E-02	1.35463E-01	8.25201E+00	5.19777E+00	3.56625E+00	7.27026E-01	1.11784E+00
THERMAL	5.54960E-01	5.12801E-02	6.63883E-02	1.82277E+01	1.14813E+01	1.01157E+01	9.34720E-01	1.21011E+00

TOTAL 1.09183E+00 2.54758E-02 3.31764E-02 3.92530E+01 2.47246E+01 4.28576E+01 1.00000E+00 1.30227E+00

TOTAL CELL SCATTERS

	1	2	3	4
1	5.6659E-01	7.0541E-01	3.5281E-03	0.0000E+00
2	0.0000E+00	3.1778E+00	9.3090E-01	9.0300E-05
3	0.0000E+00	0.0000E+00	4.3081E+00	7.3036E-01
4	0.0000E+00	0.0000E+00	3.4211E-03	9.4279E+00

CELL AVERAGE SCATTERING CROSS SECTIONS

	1	2	3	4
1	6.0755E-02	7.5643E-02	3.7833E-04	0.0000E+00
2	0.0000E+00	2.7162E-01	7.9567E-02	7.7182E-06
3	0.0000E+00	0.0000E+00	4.3186E-01	7.3213E-02
4	0.0000E+00	0.0000E+00	4.1457E-04	1.1425E+00

	MODIFIED		P	ETA.F
GROUP	REMOVALS	SPECTRUM		
1	7.089400E-01	7.452200E-01	9.513164E-01	2.312224E+00
2	9.345231E-01	2.545513E-01	9.699342E-01	2.836445E-01
3	7.270271E-01	2.006703E-04	7.777989E-01	4.442393E-01
4	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	1.537554E+00
FAST	9.345231E-01	1.000000E+00	9.347073E-01	1.411857E+00
THERMAL	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	1.294620E+00

K-INFINITY = 1.302275

30-JUN-9 17:51:44 ENTRY INTO CHAIN 14 CPU TIME = 0.000 SECS

LEAKAGE EDIT

=====

RADIAL BUCKLING 0.00000E+00 AXIAL BUCKLING 0.00000E+00

TRANSPORT DIFFUSION COEFFICIENTS

DIAGONAL TRANSPORT CORRECTED FLUX SOLUTION

INFINITY FLUX CALCULATION ITER 2 NU-FISSIONS 1.302237 ABSORPTIONS 0.999972 K-INFINITY 1.302273

FLUX CALCULATION WITH INPUT BUCKLINGS

4 GROUPS..... K-INFINITY 1.302273E+00 K-EFFECTIVE 1.302273E+00
2 GROUPS..... K-INFINITY 1.302274E+00 K-EFFECTIVE 1.302237E+00

BUCKLING SEARCH GIVEN

RADIAL AXIAL

50 ITERATIONS EXCEEDED

0.000000E+00 0.300000E+00 RATIO

4 GROUPS..... K-INFINITY 1.302273E+00 K-EFFECTIVE 1.302273E+00
2 GROUPS..... K-INFINITY 1.302274E+00 K-EFFECTIVE 1.302237E+00

BUCKLING SEARCH GIVEN

RADIAL AXIAL

50 ITERATIONS EXCEEDED

0.000000E+00 0.000000E+00 , RADIAL

4 GROUPS..... K-INFINITY 1.302273E+00 K-EFFECTIVE 1.302273E+00
2 GROUPS..... K-INFINITY 1.302274E+00 K-EFFECTIVE 1.302237E+00

BUCKLING SEARCH GIVEN

RADIAL AXIAL

50 ITERATIONS EXCEEDED

0.000000E+00 0.000000E+00 AXIAL

4 GROUPS..... K-INFINITY 1.302273E+00 K-EFFECTIVE 1.302273E+00
2 GROUPS..... K-INFINITY 1.302274E+00 K-EFFECTIVE 1.302237E+00

30-JUN-9 17:51:44 ENTRY INTO CHAIN 15 CPU TIME = 0.000 SECS

EDIT PROGRAM WIMS

ZONE	RADIUS	VOLUME	MATERIAL
	0.		
1	0.20475E+00	0.13170E+00	1
2	0.28956E+00	0.13170E+00	1
3	0.35464E+00	0.13170E+00	1
4	0.40950E+00	0.13170E+00	1
5	0.41800E+00	0.22097E-01	4
6	0.47500E+00	0.15991E+00	2
7	0.54365E+00	0.21970E+00	3
8	0.60456E+00	0.21970E+00	3
9	0.65986E+00	0.21970E+00	3
10	0.71088E+00	0.21970E+00	3

FLUX SCALE FACTOR 1.399735E+00

2)

FEW-GROUP REGIONAL AND CELL EDIT

CROSS-SECTIONS, INTEGRATED AND AVERAGED FLUXES, TOTAL EVENTS

REGION 1		MATERIAL 1		VOLUME 5.268145E-01				
GROUP	CROSS-SECTIONS		NU*FISSION	FLUXES		D*FLUX*VOL	REACTIONS	
	DIFFUSION	ABSORPTION		RIF	RAF		ABSORPTIONS	NU*FISSIONS
1	2.43045E+00	1.04760E-02	2.62433E-02	3.23077E+00	6.13265E+00	7.85222E+00	3.38457E-02	8.47860E-02
2	1.19053E+00	7.41803E-03	2.56266E-03	3.96179E+00	7.52028E+00	4.71664E+00	2.93887E-02	1.01527E-02
3	6.38192E-01	6.48687E-02	3.46846E-02	3.22959E+00	6.13041E+00	2.06110E+00	2.09499E-01	1.12017E-01
4	5.96405E-01	2.91951E-01	5.20374E-01	2.21714E+00	4.20858E+00	1.32232E+00	6.47297E-01	1.15374E+00
THERMAL	6.21182E-01	1.57305E-01	2.32389E-01	5.44673E+00	1.03390E+01	3.38341E+00	8.56796E-01	1.26576E+00
TOTAL	1.26212E+00	7.27913E-02	1.07656E-01	1.26393E+01	2.39919E+01	1.59523E+01	9.20031E-01	1.36070E+00

REGION 2		MATERIAL 4		VOLUME 2.209720E-02				
GROUP	CROSS-SECTIONS		NU*FISSION	FLUXES		D*FLUX*VOL	REACTIONS	
	DIFFUSION	ABSORPTION		RIF	RAF		ABSORPTIONS	NU*FISSIONS
1	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.31302E-01	5.94203E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
2	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.63823E-01	7.41375E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
3	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.37114E-01	6.20505E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
4	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	9.78443E-02	4.42790E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
THERMAL	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.34958E-01	1.06329E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
TOTAL	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	5.30084E-01	2.39887E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

REGION 3		MATERIAL 2		VOLUME 1.599102E-01				
GROUP	CROSS-SECTIONS		NU*FISSION	FLUXES		D*FLUX*VOL	REACTIONS	
	DIFFUSION	ABSORPTION		RIF	RAF		ABSORPTIONS	NU*FISSIONS
1	2.52709E+00	4.94029E-04	0.00000E+00	9.38596E-01	5.86952E+00	2.37192E+00	4.63694E-04	0.00000E+00
2	1.25835E+00	3.64343E-04	0.00000E+00	1.17891E+00	7.37231E+00	1.48348E+00	4.29526E-04	0.00000E+00
3	1.30959E+00	3.75768E-03	0.00000E+00	9.96225E-01	6.22990E+00	1.30464E+00	3.74350E-03	0.00000E+00
4	1.26183E+00	4.77215E-03	0.00000E+00	7.18667E-01	4.49419E+00	9.06832E-01	3.42959E-03	0.00000E+00
THERMAL	1.28957E+00	4.18282E-03	0.00000E+00	1.71489E+00	1.07241E+01	2.21147E+00	7.17309E-03	0.00000E+00
TOTAL	1.58305E+00	2.10477E-03	0.00000E+00	3.83239E+00	2.39659E+01	6.06688E+00	8.06631E-03	0.00000E+00

REGION 4		MATERIAL 3		VOLUME 8.787832E-01				
GROUP	CROSS-SECTIONS		NU*FISSION	FLUXES		D*FLUX*VOL	REACTIONS	
	DIFFUSION	ABSORPTION		RIF	RAF		ABSORPTIONS	NU*FISSIONS
1	2.24886E+00	4.59156E-04	0.00000E+00	5.02352E+00	5.71645E+00	1.12972E+01	2.30658E-03	0.00000E+00
2	7.84581E-01	2.17827E-07	0.00000E+00	6.38416E+00	7.26477E+00	5.00888E+00	1.39064E-06	0.00000E+00
3	5.62715E-01	8.88986E-04	0.00000E+00	5.53003E+00	6.29283E+00	3.11183E+00	4.91612E-03	0.00000E+00
4	1.87467E-01	1.55812E-02	0.00000E+00	4.15108E+00	4.72367E+00	7.78190E-01	6.46789E-02	0.00000E+00
THERMAL	4.01816E-01	7.18875E-03	0.00000E+00	9.68111E+00	1.10165E+01	3.89002E+00	6.95951E-02	0.00000E+00
TOTAL	9.57671E-01	3.40954E-03	0.00000E+00	2.10888E+01	2.39977E+01	2.01961E+01	7.19030E-02	0.00000E+00

CELL		VOLUME 1.587605E+00						
GROUP	CROSS-SECTIONS		NU*FISSION	FLUXES		D*FLUX*VOL	REACTIONS	
	DIFFUSION	ABSORPTION		RIF	RAF		ABSORPTIONS	NU*FISSIONS
1	2.30812E+00	3.92699E-03	9.09312E-03	9.32419E+00	5.87312E+00	2.15213E+01	3.66160E-02	8.47860E-02
2	9.58963E-01	2.55115E-03	8.68595E-04	1.16887E+01	7.36246E+00	1.12090E+01	2.98196E-02	1.01527E-02
3	6.54766E-01	2.20519E-02	1.13229E-02	9.89296E+00	6.23137E+00	6.47757E+00	2.18159E-01	1.12017E-01
4	4.18573E-01	9.95730E-02	1.60582E-01	7.18473E+00	4.52552E+00	3.00734E+00	7.15406E-01	1.15374E+00
THERMAL	5.55398E-01	5.46657E-02	7.41177E-02	1.70777E+01	1.07569E+01	9.48491E+00	9.33564E-01	1.26576E+00

TOTAL 1.10829E+00 2.62532E-02 3.57227E-02 3.80906E+01 2.39925E+01 4.22153E+01 1.00000E+00 1.36070E+00

TOTAL CELL SCATTERS

	1	2	3	4
1	5.6626E-01	7.0510E-01	3.5271E-03	0.0000E+00
2	0.0000E+00	3.1742E+00	9.2975E-01	9.0185E-05
3	0.0000E+00	0.0000E+00	4.2794E+00	7.1867E-01
4	0.0000E+00	0.0000E+00	3.3500E-03	8.0913E+00

CELL AVERAGE SCATTERING CROSS SECTIONS

	1	2	3	4
1	6.0730E-02	7.5621E-02	3.7828E-04	0.0000E+00
2	0.0000E+00	2.7156E-01	7.9543E-02	7.7156E-06
3	0.0000E+00	0.0000E+00	4.3257E-01	7.2644E-02
4	0.0000E+00	0.0000E+00	4.6627E-04	1.1262E+00

	GROUP	REMOVALS	MODIFIED SPECTRUM	P	ETA.F
	1	7.086293E-01	7.452200E-01	9.508995E-01	2.315547E+00
	2	9.333668E-01	2.545513E-01	9.690465E-01	3.404715E-01
	3	7.154068E-01	2.006703E-04	7.663150E-01	5.134661E-01
	4	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	1.612710E+00
	FAST	9.333668E-01	1.000000E+00	9.335513E-01	1.429034E+00
	THERMAL	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	1.355835E+00

K-INFINITY = 1.360699

30-JUN-9 17:51:49 ENTRY INTO CHAIN 14 CPU TIME = 0.000 SECS

LEAKAGE EDIT

RADIAL BUCKLING 0.00000E+00 AXIAL BUCKLING 0.00000E+00

TRANSPORT DIFFUSION COEFFICIENTS

DIAGONAL TRANSPORT CORRECTED FLUX SOLUTION

INFINITY FLUX CALCULATION ITER 2 NU-FISSIONS 1.360661 ABSORPTIONS 0.999973 K-INFINITY 1.360698

FLUX CALCULATION WITH INPUT BUCKLINGS

4 GROUPS..... K-INFINITY 1.360698E+00 K-EFFECTIVE 1.360698E+00
2 GROUPS..... K-INFINITY 1.360698E+00 K-EFFECTIVE 1.360661E+00

BUCKLING SEARCH GIVEN
RADIAL AXIAL
50 ITERATIONS EXCEEDED
0.000000E+00 0.000000E+00 RATIO

4 GROUPS..... K-INFINITY 1.360698E+00 K-EFFECTIVE 1.360698E+00
2 GROUPS..... K-INFINITY 1.360698E+00 K-EFFECTIVE 1.360661E+00

BUCKLING SEARCH GIVEN
RADIAL AXIAL
50 ITERATIONS EXCEEDED
0.000000E+00 0.000000E+00 RADIAL

4 GROUPS..... K-INFINITY 1.360698E+00 K-EFFECTIVE 1.360698E+00
2 GROUPS..... K-INFINITY 1.360698E+00 K-EFFECTIVE 1.360661E+00

BUCKLING SEARCH GIVEN
RADIAL AXIAL
50 ITERATIONS EXCEEDED
0.000000E+00 0.000000E+00 AXIAL

4 GROUPS..... K-INFINITY 1.360698E+00 K-EFFECTIVE 1.360698E+00
2 GROUPS..... K-INFINITY 1.360698E+00 K-EFFECTIVE 1.360661E+00

EDIT PROGRAM WIMS

ZONE	RADIUS	VOLUME	MATERIAL
	0.		
1	0.20475E+00	0.13170E+00	1
2	0.28956E+00	0.13170E+00	1
3	0.35464E+00	0.13170E+00	1
4	0.40950E+00	0.13170E+00	1
5	0.41800E+00	0.22097E-01	4
6	0.47500E+00	0.15991E+00	2
7	0.54365E+00	0.21970E+00	3
8	0.60456E+00	0.21970E+00	3
9	0.65986E+00	0.21970E+00	3
10	0.71088E+00	0.21970E+00	3

FLUX SCALE FACTOR 1.380581E+00

(3)

FEW-GROUP REGIONAL AND CELL EDIT

CROSS-SECTIONS, INTEGRATED AND AVERAGED FLUXES, TOTAL EVENTS

REGION 1 MATERIAL 1 VOLUME 5.268145E-01

GROUP	CROSS-SECTIONS		NU*FISSION	FLUXES		D*FLUX*VOL	REACTIONS	
	DIFFUSION	ABSORPTION		RIF	RAF		ABSORPTIONS	NU*FISSIONS
1	2.43055E+00	1.05156E-02	2.63502E-02	3.23051E+00	6.13217E+00	7.85194E+00	3.39709E-02	8.51248E-02
2	1.19049E+00	7.50689E-03	2.75970E-03	3.96022E+00	7.51730E+00	4.71460E+00	2.97290E-02	1.09290E-02
3	6.36062E-01	6.63732E-02	3.71965E-02	3.21783E+00	6.10808E+00	2.04674E+00	2.13578E-01	1.19692E-01
4	5.79992E-01	3.07583E-01	5.53622E-01	2.10187E+00	3.98977E+00	1.21907E+00	6.46499E-01	1.16364E+00
THERMAL	6.13908E-01	1.61678E-01	2.41241E-01	5.31969E+00	1.00978E+01	3.26580E+00	8.60076E-01	1.28333E+00
TOTAL	1.26553E+00	7.38405E-02	1.10259E-01	1.25104E+01	2.37473E+01	1.58323E+01	9.23776E-01	1.37938E+00

REGION 2 MATERIAL 4 VOLUME 2.209720E-02

GROUP	CROSS-SECTIONS		NU*FISSION	FLUXES		D*FLUX*VOL	REACTIONS	
	DIFFUSION	ABSORPTION		RIF	RAF		ABSORPTIONS	NU*FISSIONS
1	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.31297E-01	5.94178E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
2	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.63762E-01	7.41097E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
3	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.36654E-01	6.18424E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
4	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	9.30288E-02	4.20998E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
THERMAL	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.29683E-01	1.03942E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
TOTAL	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	5.24742E-01	2.37470E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

REGION 3 MATERIAL 2 VOLUME 1.599102E-01

GROUP	CROSS-SECTIONS		NU*FISSION	FLUXES		D*FLUX*VOL	REACTIONS	
	DIFFUSION	ABSORPTION		RIF	RAF		ABSORPTIONS	NU*FISSIONS
1	2.52714E+00	4.94052E-04	0.00000E+00	9.38551E-01	5.86924E+00	2.37185E+00	4.63693E-04	0.00000E+00
2	1.25836E+00	3.64350E-04	0.00000E+00	1.17847E+00	7.36957E+00	1.48294E+00	4.29375E-04	0.00000E+00
3	1.30934E+00	3.76345E-03	0.00000E+00	9.92974E-01	6.20957E+00	1.30014E+00	3.73700E-03	0.00000E+00
4	1.26210E+00	4.72831E-03	0.00000E+00	6.83826E-01	4.27632E+00	8.63060E-01	3.23335E-03	0.00000E+00
THERMAL	1.29007E+00	4.15694E-03	0.00000E+00	1.67680E+00	1.04859E+01	2.16320E+00	6.97035E-03	0.00000E+00
TOTAL	1.58626E+00	2.07269E-03	0.00000E+00	3.79382E+00	2.37247E+01	6.01799E+00	7.86342E-03	0.00000E+00

REGION 4 MATERIAL 3 VOLUME 8.787832E-01

GROUP	CROSS-SECTIONS		NU*FISSION	FLUXES		D*FLUX*VOL	REACTIONS	
	DIFFUSION	ABSORPTION		RIF	RAF		ABSORPTIONS	NU*FISSIONS
1	2.24893E+00	4.59191E-04	0.00000E+00	5.02325E+00	5.71614E+00	1.12969E+01	2.30663E-03	0.00000E+00
2	7.84593E-01	2.17819E-07	0.00000E+00	6.38183E+00	7.26212E+00	5.00714E+00	1.39008E-06	0.00000E+00
3	5.62790E-01	8.86887E-04	0.00000E+00	5.51321E+00	6.27369E+00	3.10278E+00	4.88960E-03	0.00000E+00
4	1.88880E-01	1.54505E-02	0.00000E+00	3.95862E+00	4.50466E+00	7.47705E-01	6.11628E-02	0.00000E+00
THERMAL	4.06520E-01	6.97355E-03	0.00000E+00	9.47184E+00	1.07784E+01	3.85049E+00	6.60524E-02	0.00000E+00
TOTAL	9.65399E-01	3.27445E-03	0.00000E+00	2.08769E+01	2.37566E+01	2.01546E+01	6.83604E-02	0.00000E+00

CELL VOLUME 1.587605E+00

GROUP	CROSS-SECTIONS		NU*FISSION	FLUXES		D*FLUX*VOL	REACTIONS	
	DIFFUSION	ABSORPTION		RIF	RAF		ABSORPTIONS	NU*FISSIONS
1	2.30819E+00	3.94067E-03	9.13002E-03	9.32361E+00	5.87275E+00	2.15207E+01	3.67413E-02	8.51248E-02
2	9.58953E-01	2.58122E-03	9.35361E-04	1.16843E+01	7.35969E+00	1.12047E+01	3.01597E-02	1.09290E-02
3	6.54079E-01	2.25344E-02	1.21383E-02	9.86067E+00	6.21103E+00	6.44966E+00	2.22204E-01	1.19692E-01
4	4.13879E-01	1.03972E-01	1.70189E-01	6.83734E+00	4.30670E+00	2.82983E+00	7.10895E-01	1.16364E+00
THERMAL	5.55724E-01	5.58808E-02	7.68553E-02	1.66980E+01	1.05177E+01	9.27949E+00	9.33099E-01	1.28333E+00

TOTAL 1.11401E+00 2.65210E-02 3.65827E-02 3.77059E+01 2.37502E+01 4.20049E+01 1.00000E+00 1.37938E+00

TOTAL CELL SCATTERS

	1	2	3	4
1	5.6613E-01	7.0498E-01	3.5267E-03	0.0000E+00
2	0.0000E+00	3.1728E+00	9.2929E-01	9.0139E-05
3	0.0000E+00	0.0000E+00	4.2682E+00	7.1413E-01
4	0.0000E+00	0.0000E+00	3.3225E-03	7.6605E+00

CELL AVERAGE SCATTERING CROSS SECTIONS

	1	2	3	4
1	6.0720E-02	7.5612E-02	3.7826E-04	0.0000E+00
2	0.0000E+00	2.7154E-01	7.9533E-02	7.7145E-06
3	0.0000E+00	0.0000E+00	4.3285E-01	7.2422E-02
4	0.0000E+00	0.0000E+00	4.8594E-04	1.1204E+00

GROUP	MODIFIED		P	ETA.F
	REMOVALS	SPECTRUM		
1	7.085058E-01	7.452200E-01	9.507337E-01	2.316873E+00
2	9.329026E-01	2.545513E-01	9.686888E-01	3.623717E-01
3	7.108967E-01	2.006703E-04	7.618628E-01	5.386578E-01
4	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	1.636865E+00
FAST	9.329026E-01	1.000000E+00	9.330859E-01	1.435762E+00
THERMAL	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	1.375342E+00

K-INFINITY = 1.379385

30-JUN-9 17:51:55 ENTRY INTO CHAIN 14 CPU TIME = 0.000 SECS

LEAKAGE EDIT

=====

RADIAL BUCKLING 0.00000E+00 AXIAL BUCKLING 0.00000E+00

TRANSPORT DIFFUSION COEFFICIENTS

DIAGONAL TRANSPORT CORRECTED FLUX SOLUTION

INFINITY FLUX CALCULATION ITER 2 NU-FISSIONS 1.379347 ABSORPTIONS 0.999973 K-INFINITY 1.379385

FLUX CALCULATION WITH INPUT BUCKLINGS

4 GROUPS..... K-INFINITY 1.379385E+00 K-EFFECTIVE 1.379385E+00
2 GROUPS..... K-INFINITY 1.379385E+00 K-EFFECTIVE 1.379347E+00

BUCKLING SEARCH GIVEN
RADIAL AXIAL
50 ITERATIONS EXCEEDED
0.000000E+00 0.000000E+00 RATIO

4 GROUPS..... K-INFINITY 1.379385E+00 K-EFFECTIVE 1.379385E+00
2 GROUPS..... K-INFINITY 1.379385E+00 K-EFFECTIVE 1.379347E+00

BUCKLING SEARCH GIVEN
RADIAL AXIAL
50 ITERATIONS EXCEEDED
0.000000E+00 0.000000E+00 RADIAL

4 GROUPS..... K-INFINITY 1.379385E+00 K-EFFECTIVE 1.379385E+00
2 GROUPS..... K-INFINITY 1.379385E+00 K-EFFECTIVE 1.379347E+00

BUCKLING SEARCH GIVEN
RADIAL AXIAL
50 ITERATIONS EXCEEDED
0.000000E+00 0.000000E+00 AXIAL

4 GROUPS..... K-INFINITY 1.379385E+00 K-EFFECTIVE 1.379385E+00
2 GROUPS..... K-INFINITY 1.379385E+00 K-EFFECTIVE 1.379347E+00

30-JUN-9 17:51:55 ENTRY INTO CHAIN 15 CPU TIME = 0.000 SECS

EDIT PROGRAM WIMS

ZONE	RADIUS	VOLUME	MATERIAL
	0.		
1	0.20475E+00	0.13170E+00	1
2	0.28956E+00	0.13170E+00	1
3	0.35464E+00	0.13170E+00	1
4	0.40950E+00	0.13170E+00	1
5	0.41800E+00	0.22097E-01	4
6	0.47500E+00	0.15991E+00	2
7	0.54365E+00	0.21970E+00	3
8	0.60456E+00	0.21970E+00	3
9	0.65986E+00	0.21970E+00	3
10	0.71088E+00	0.21970E+00	3

FLUX SCALE FACTOR 1.349773E+00

FEW-GROUP REGIONAL AND CELL EDIT

CROSS-SECTIONS, INTEGRATED AND AVERAGED FLUXES, TOTAL EVENTS

REGION 1 MATERIAL 1 VOLUME 5.268145E-01

GROUP	CROSS-SECTIONS			FLUXES		D*FLUX*VOL	REACTIONS	
	DIFFUSION	ABSORPTION	NU*FISSION	RIF	RAF		ABSORPTIONS	NU*FISSIONS
1	2.43085E+00	1.35944E-02	2.65631E-02	3.23001E+00	6.13122E+00	7.85169E+00	3.42201E-02	8.57990E-02
2	1.19044E+00	7.68426E-03	3.15361E-03	3.95707E+00	7.51132E+00	4.71066E+00	3.04072E-02	1.24790E-02
3	6.31982E-01	6.93078E-02	4.21142E-02	3.19495E+00	6.06466E+00	2.01915E+00	2.21435E-01	1.34553E-01
4	5.50473E-01	3.38036E-01	5.18294E-01	1.90532E+00	3.61668E+00	1.04883E+00	6.44067E-01	1.17805E+00
THERMAL	6.01532E-01	1.59697E-01	2.57359E-01	5.10027E+00	9.68134E+00	3.06798E+00	8.65502E-01	1.31260E+00
TOTAL	1.27207E+00	7.56981E-02	1.14824E-01	1.22874E+01	2.33239E+01	1.56303E+01	9.30129E-01	1.41088E+00

REGION 2 MATERIAL 4 VOLUME 2.209720E-02

GROUP	CROSS-SECTIONS			FLUXES		D*FLUX*VOL	REACTIONS	
	DIFFUSION	ABSORPTION	NU*FISSION	RIF	RAF		ABSORPTIONS	NU*FISSIONS
1	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.31286E-01	5.94129E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
2	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.63639E-01	7.40540E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
3	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.35759E-01	6.14373E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
4	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	8.48153E-02	3.83828E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
THERMAL	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.20575E-01	9.98202E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
TOTAL	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	5.15499E-01	2.33287E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

REGION 3 MATERIAL 2 VOLUME 1.599102E-01

GROUP	CROSS-SECTIONS			FLUXES		D*FLUX*VOL	REACTIONS	
	DIFFUSION	ABSORPTION	NU*FISSION	RIF	RAF		ABSORPTIONS	NU*FISSIONS
1	2.52724E+00	4.94097E-04	0.00000E+00	9.38464E-01	5.86869E+00	2.37172E+00	4.63693E-04	0.00000E+00
2	1.25838E+00	3.64366E-04	0.00000E+00	1.17759E+00	7.36406E+00	1.48186E+00	4.29073E-04	0.00000E+00
3	1.30885E+00	3.77458E-03	0.00000E+00	9.86646E-01	6.17000E+00	1.29137E+00	3.72418E-03	0.00000E+00
4	1.26262E+00	4.64731E-03	0.00000E+00	6.24385E-01	3.90460E+00	7.88361E-01	2.90171E-03	0.00000E+00
THERMAL	1.29093E+00	4.11282E-03	0.00000E+00	1.61103E+00	1.00746E+01	2.07973E+00	6.62589E-03	0.00000E+00
TOTAL	1.59195E+00	2.01730E-03	0.00000E+00	3.72708E+00	2.33074E+01	5.93331E+00	7.51865E-03	0.00000E+00

REGION 4 MATERIAL 3 VOLUME 8.787832E-01

GROUP	CROSS-SECTIONS			FLUXES		D*FLUX*VOL	REACTIONS	
	DIFFUSION	ABSORPTION	NU*FISSION	RIF	RAF		ABSORPTIONS	NU*FISSIONS
1	2.24906E+00	4.59262E-04	0.00000E+00	5.02274E+00	5.71556E+00	1.12964E+01	2.30675E-03	0.00000E+00
2	7.84618E-01	2.17804E-07	0.00000E+00	6.37717E+00	7.25682E+00	5.00364E+00	1.38897E-06	0.00000E+00
3	5.62935E-01	8.82824E-04	0.00000E+00	5.48045E+00	6.23641E+00	3.08514E+00	4.83827E-03	0.00000E+00
4	1.91518E-01	1.52088E-02	0.00000E+00	3.62988E+00	4.13057E+00	6.95186E-01	5.52059E-02	0.00000E+00
THERMAL	4.14949E-01	6.59078E-03	0.00000E+00	9.11033E+00	1.03670E+01	3.78032E+00	6.00442E-02	0.00000E+00
TOTAL	9.79043E-01	3.04006E-03	0.00000E+00	2.05102E+01	2.33394E+01	2.00804E+01	6.23523E-02	0.00000E+00

CELL VOLUME 1.587605E-00

GROUP	CROSS-SECTIONS			FLUXES		D*FLUX*VOL	REACTIONS	
	DIFFUSION	ABSORPTION	NU*FISSION	RIF	RAF		ABSORPTIONS	NU*FISSIONS
1	2.30838E+00	3.95788E-03	9.20344E-03	9.32250E+00	5.87205E+00	2.15198E+01	3.69905E-02	8.57990E-02
2	9.58948E-01	2.64123E-03	1.06883E-03	1.16755E+01	7.35414E+00	1.11962E+01	3.08376E-02	1.24790E-02
3	6.52764E-01	1.34744E-02	2.37329E-02	9.79781E+00	6.17144E+00	6.39566E+00	2.29997E-01	1.34553E-01
4	4.05543E-01	1.12449E-01	1.88657E-01	6.24440E+00	3.93322E+00	2.53237E+00	7.02174E-01	1.17805E+00
THERMAL	5.56534E-01	5.81075E-02	8.18216E-02	1.60422E+01	1.01047E+01	8.92803E+00	9.32172E-01	1.31260E+00

TOTAL 1.12429E+00 2.69977E-02 3.80905E-02 3.70402E+01 2.33308E+01 4.16440E+01 1.00000E+00 1.41088E+00

TOTAL CELL SCATTERS

(4)

	1	2	3	4
1	5.6587E-01	7.0473E-01	3.5259E-03	0.0000E+00
2	0.0000E+00	3.1699E+00	9.2836E-01	9.0047E-05
3	0.0000E+00	0.0000E+00	4.2462E+00	7.0536E-01
4	0.0000E+00	0.0000E+00	3.2692E-03	6.9309E+00

CELL AVERAGE SCATTERING CROSS SECTIONS

	1	2	3	4
1	6.0700E-02	7.5594E-02	3.7822E-04	0.0000E+00
2	0.0000E+00	2.7150E-01	7.9514E-02	7.7125E-06
3	0.0000E+00	0.0000E+00	4.3339E-01	7.1991E-02
4	0.0000E+00	0.0000E+00	5.2354E-04	1.1099E+00

GROUP	MODIFIED			
	REMOVALS	SPECTRUM	P	ETA.F
1	7.082552E-01	7.452200E-01	9.503974E-01	2.319486E+00
2	9.319760E-01	2.545513E-01	9.679785E-01	4.046696E-01
3	7.021772E-01	2.006703E-04	7.532663E-01	5.850180E-01
4	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	1.677712E+00
FAST	9.319760E-01	1.000000E+00	9.321586E-01	1.448929E+00
THERMAL	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	1.408109E+00

K-INFINITY = 1.410878

30-JUN-9 17:52:01 ENTRY INTO CHAIN 14 CPU TIME = 0.000 SECS

LEAKAGE EDIT

=====

RADIAL BUCKLING 0.00000E+00 AXIAL BUCKLING 0.00000E+00

4

TRANSPORT DIFFUSION COEFFICIENTS

DIAGONAL TRANSPORT CORRECTED FLUX SOLUTION

INFINITY FLUX CALCULATION ITER 2 NU-FISSIONS 1.410838 ABSORPTIONS 0.999972 K-INFINITY 1.410878

FLUX CALCULATION WITH INPUT BUCKLINGS

4 GROUPS..... K-INFINITY 1.410878E+00 K-EFFECTIVE 1.410878E+00
2 GROUPS..... K-INFINITY 1.410878E+00 K-EFFECTIVE 1.410838E+00

BUCKLING SEARCH GIVEN
RADIAL AXIAL
50 ITERATIONS EXCEEDED
0.000000E+00 0.000000E+00 RATIO

4 GROUPS..... K-INFINITY 1.410878E+00 K-EFFECTIVE 1.410878E+00
2 GROUPS..... K-INFINITY 1.410878E+00 K-EFFECTIVE 1.410838E+00

BUCKLING SEARCH GIVEN
RADIAL AXIAL
50 ITERATIONS EXCEEDED
0.000000E+00 0.000000E+00 RADIAL

4 GROUPS..... K-INFINITY 1.410878E+00 K-EFFECTIVE 1.410878E+00
2 GROUPS..... K-INFINITY 1.410878E+00 K-EFFECTIVE 1.410838E+00

BUCKLING SEARCH GIVEN
RADIAL AXIAL
50 ITERATIONS EXCEEDED
0.000000E+00 0.000000E+00 AXIAL

4 GROUPS..... K-INFINITY 1.410878E+00 K-EFFECTIVE 1.410878E+00
2 GROUPS..... K-INFINITY 1.410878E+00 K-EFFECTIVE 1.410838E+00

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

BIBLIOGRAPHIE

[1] - H.ETHERINGTON

Nuclear engineering handbook

Mc-GRAW-HILL book company, 1958

[2] - J.R.LAMARSH

Introduction to nuclear engineering

Addison -Wesley publishing company, 1983

[3] - J.BUSSAC & P.REUSS

Traite de neutronique

HERMANN , 1978

[4] - M.DURR

Les reacteurs a eau sous pression

Document technique de l'E.D.F-R.E.A.L , 1976

[5] - WANG DAZHONG DONG DUO ZHANG DAFANG

HR-200 Nuclear desalination system

Institute of nuclear energy technology

Tsinghua university (CHINA) , 1992

[6] - Le combustible nucleaire P.W.R 900 MWe

Le dechargement - chargement

[7] - G.VENDRYES

Degagement de chaleur et production de plutonium dans la pile

Genie atomique , chapitre B.VIII

[8] - S.DJAROUM

Etude et conception d'un reacteur de recherche type piscine d'une puissance de 5 MWth utilisant un combustible " CARMEL " enrichi a 19,75 %

Partie calcul neutronique

These de D.P.G.S , 1991

[9] - A.GHERBI & L.FEDDAD

Reacteur nucleaire (100 MW) pour chauffage urbain

These P.F.E (E.N.P) , 1977

[10] - F.ZIDOUNI

Etude et conception d'un reacteur de recherche type piscine d'une puissance de 5 MWth utilisant un combustible " CARMEL " enrichi a 19,75 %

Partie : Radioprotection et etude des blindages

These de D.P.G.S ,1991

[11] - J.C.ROUSSEAU

Cours de thermohydraulique appliquee aux reacteurs , 1973

[12] - A.ABED

Etude et conception d'un reacteur de recherche type piscine d'une puissance de 5 MWth utilisant un combustible " CARMEL " enrichi a 19,75 %

Partie thermohydraulique

These de D.P.G.S , 1991

[13] - Use of nuclear reactors for seawater desalination

Document technique de l'A.I.E.A , 1990

[14] - R.DESJARDINS

Le traitement des eaux

Editions de l'ecole polytechnique de montreal , 1988

[15] - I.E.IDEL'CIK

Memento des pertes de charge

Eyrolles , 1979

II-7-2- Milieu gaine	31
II-7-3- Milieu eau	31
II-8- Calcul des constantes neutroniques du combustible	32
II-8-1- Section efficace macroscopique moyenne d'absorption	32
II-8-2- Section efficace macroscopique de fission	32
II-8-3- Section efficace macroscopique de diffusion	32
II-8-4- Coefficient et longueur de diffusion du combustible	33
II-9- Calcul des constantes neutroniques du modérateur	
II-9-1- Section efficace macroscopique d'absorption	33
II-9-2- Section efficace macroscopique de diffusion	34
II-9-3- Coefficient et longueur de diffusion du modérateur	34
II-10- Calcul de la section efficace d'absorption moyenne et du coefficient de diffusion du groupe thermique	34
II-10-1- Détermination du facteur d'utilisation thermique f	34
II-10-2- Facteur de désavantage	35
II-11- Calcul de la taille critique du cœur nu à partir des sorties de code WIMS-D4	36
II-11-1- Calcul du laplacien matière	37
II-11-2- Volume du cœur critique	39
II-11-3- Calcul des dimensions réelles du cœur nu	39
II-11-4- Calcul de la puissance spécifique	39
II-12- Étude du cœur réfléchi	43
II-12-1- Calcul de la masse et du nombre d'éléments combustible dans le cœur réfléchi	49

II-7-2- Milieu gaine	31
II-7-3- Milieu eau	31
II-8- Calcul des constantes neutroniques du combustible	32
II-8-1- Section efficace macroscopique moyenne d'absorption	32
II-8-2- Section efficace macroscopique de fission	32
II-8-3- Section efficace macroscopique de diffusion	32
II-8-4- Coefficient et longueur de diffusion du combustible	33
II-9- Calcul des constantes neutroniques du modérateur	
II-9-1- Section efficace macroscopique d'absorption	33
II-9-2- Section efficace macroscopique de diffusion	34
II-9-3- Coefficient et longueur de diffusion du modérateur	34
II-10- Calcul de la section efficace d'absorption moyenne et du coefficient de diffusion du groupe thermique	34
II-10-1- Détermination du facteur d'utilisation thermique f	34
II-10-2- Facteur de désavantage	35
II-11- Calcul de la taille critique du cœur nu à partir des sorties de code WIMS-D4	36
II-11-1- Calcul du laplacien matière	37
II-11-2- Volume du cœur critique	39
II-11-3- Calcul des dimensions réelles du cœur nu	39
II-11-4- Calcul de la puissance spécifique	39
II-12- Étude du cœur réfléchi	43
II-12-1- Calcul de la masse et du nombre d'éléments combustible dans le cœur réfléchi	49

II-7-2- Milieu gaine	31
II-7-3- Milieu eau	31
II-8- Calcul des constantes neutroniques du combustible	32
II-8-1- Section efficace macroscopique moyenne d'absorption	32
II-8-2- Section efficace macroscopique de fission	32
II-8-3- Section efficace macroscopique de diffusion	32
II-8-4- Coefficient et longueur de diffusion du combustible	33
II-9- Calcul des constantes neutroniques du modérateur	
II-9-1- Section efficace macroscopique d'absorption	33
II-9-2- Section efficace macroscopique de diffusion	34
II-9-3- Coefficient et longueur de diffusion du modérateur	34
II-10- Calcul de la section efficace d'absorption moyenne et du coefficient de diffusion du groupe thermique	34
II-10-1- Détermination du facteur d'utilisation thermique f	34
II-10-2- Facteur de désavantage	35
II-11- Calcul de la taille critique du cœur nu à partir des sorties de code WIMS-D4	36
II-11-1- Calcul du laplacien matière	37
II-11-2- Volume du cœur critique	39
II-11-3- Calcul des dimensions réelles du cœur nu	39
II-11-4- Calcul de la puissance spécifique	39
II-12- Étude du cœur réfléchi	43
II-12-1- Calcul de la masse et du nombre d'éléments combustible dans le cœur réfléchi	49

CHAPITRE II : ETUDE NEUTRONIQUE

II- Schema de principe d'un reacteur nucleaire	16
II-1- Liaison gaine-combustible	17
II-2- Couplage du reacteur avec l' unite de dessalement	17
II-3- Rappels de neutronique	17
II-3-1- Interactions neutroniques	17
II-3-1-1- La diffusion elastique	18
II-3-1-2- La diffusion inelastique	18
II-3-1-3- La capture radiative	18
II-3-1-4- Reactions productrices de neutrons	18
II-3-1-5- La fission	18
II-4- Sections efficaces	18
II-4-1- Sections efficaces microscopiques	18
II-4-2- Sections efficaces macroscopiques	19
II-4-3- Libre parcours moyens	20
II-4-4- Taux de reaction	20
II-4-5- Neutrons thermiques	21
II-5- Theorie des reacteurs nucleaires	21
II-5-1- Equation de continuite	21
II-5-2- Theorie a un groupe	22
II-5-2-1- Distribution radiale du flux	24
II-5-2-2- Distribution axiale du flux	24
II-5-3- Theorie multigroupe	25
II-5-3-1- Application a 4 groupes d'energie	27
II-6- Notion de cellule	30
II-7- Calcul des concentrations des differents isotopes dans la cellule elementaire	30
II-7-1- Milieu combustible	30

CHAPITRE II : ETUDE NEUTRONIQUE

II- Schema de principe d'un reacteur nucleaire	16
II-1- Liaison gaine-combustible	17
II-2- Couplage du reacteur avec l' unite de dessalement	17
II-3- Rappels de neutronique	17
II-3-1- Interactions neutroniques	17
II-3-1-1- La diffusion elastique	18
II-3-1-2- La diffusion inelastique	18
II-3-1-3- La capture radiative	18
II-3-1-4- Reactions productrices de neutrons	18
II-3-1-5- La fission	18
II-4- Sections efficaces	18
II-4-1- Sections efficaces microscopiques	18
II-4-2- Sections efficaces macroscopiques	19
II-4-3- Libre parcours moyens	20
II-4-4- Taux de reaction	20
II-4-5- Neutrons thermiques	21
II-5- Theorie des reacteurs nucleaires	21
II-5-1- Equation de continuite	21
II-5-2- Theorie a un groupe	22
II-5-2-1- Distribution radiale du flux	24
II-5-2-2- Distribution axiale du flux	24
II-5-3- Theorie multigroupe	25
II-5-3-1- Application a 4 groupes d'energie	27
II-6- Notion de cellule	30
II-7- Calcul des concentrations des differents isotopes dans la cellule elementaire	30
II-7-1- Milieu combustible	30

CHAPITRE II : ETUDE NEUTRONIQUE

II- Schema de principe d'un reacteur nucleaire	16
II-1- Liaison gaine-combustible	17
II-2- Couplage du reacteur avec l' unite de dessalement	17
II-3- Rappels de neutronique	17
II-3-1- Interactions neutroniques	17
II-3-1-1- La diffusion elastique	18
II-3-1-2- La diffusion inelastique	18
II-3-1-3- La capture radiative	18
II-3-1-4- Reactions productrices de neutrons	18
II-3-1-5- La fission	18
II-4- Sections efficaces	18
II-4-1- Sections efficaces microscopiques	18
II-4-2- Sections efficaces macroscopiques	19
II-4-3- Libres parcours moyens	20
II-4-4- Taux de reaction	20
II-4-5- Neutrons thermiques	21
II-5- Theorie des reacteurs nucleaires	21
II-5-1- Equation de continuite	21
II-5-2- Theorie a un groupe	22
II-5-2-1- Distribution radiale du flux	24
II-5-2-2- Distribution axiale du flux	24
II-5-3- Theorie multigroupe	25
II-5-3-1- Application a 4 groupes d'energie	27
II-6- Notion de cellule	30
II-7- Calcul des concentrations des differents isotopes dans la cellule elementaire	30
II-7-1- Milieu combustible	30

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : ETUDE DU DESSALEMENT	
I-1- Distribution et classification des eaux	3
I-2- Methodes de dessalement des eaux de mer	4
I-3- Presentation des differents procedes de dessalement	4
I-3-1- Le mutiflash (M.S.F)	4
I-3-1-1- M.S.F avec recyclage	5
I-3-1-2- M.S.F sans recyclage	5
I-3-2- Distillation a effet multiple (M.E.D)	5
I-3-2-1- Distillation a effet multiple avec evapourateur a tubes horizontaux	5
I-3-2-2- Distillation a effet multiple avec evapourateur a tubes verticaux	6
I-3-3- Osmose inverse (R.O)	7
I-4- Autres procedes	7
I-4-1- Congelation	7
I-4-2- Distillation par effet solaire	8
I-4-3- Electrodialyse (E .D)	8
I-5- Etude de l'installation de dessalement	8
I-5-1- Calcul du debit d'eau d'alimentation	9
I-5-2- Debit specifique de saumure	11
I-5-3- Temperature de l'eau d'alimentation a l'entree du condenseur du 10 ^{eme} etage	11
I-5-4- Calcul du debit de vapeur dans le rechauffeur principal	12
I-5-5- Calcul des capacites reelles de production de chaque etage	13
I-5-6- Calcul des sections de passage de l'eau d'alimentation	14
I-5-7- Calcul des sections de passage du distillat d'un etage vers l'autre	14
I-5-8- Calcul de l'apport energetique necessaire aux unites de dessalement	15

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : ETUDE DU DESSALEMENT	
I-1- Distribution et classification des eaux	3
I-2- Methodes de dessalement des eaux de mer	4
I-3- Presentation des differents procedes de dessalement	4
I-3-1- Le mutiflash (M.S.F)	4
I-3-1-1- M.S.F avec recyclage	5
I-3-1-2- M.S.F sans recyclage	5
I-3-2- Distillation a effet multiple (M.E.D)	5
I-3-2-1- Distillation a effet multiple avec evapourateur a tubes horizontaux	5
I-3-2-2- Distillation a effet multiple avec evapourateur a tubes verticaux	6
I-3-3- Osmose inverse (R.O)	7
I-4- Autres procedes	7
I-4-1- Congelation	7
I-4-2- Distillation par effet solaire	8
I-4-3- Electrodialyse (E .D)	8
I-5- Etude de l'installation de dessalement	8
I-5-1- Calcul du debit d'eau d'alimentation	9
I-5-2- Debit specifique de saumure	11
I-5-3- Temperature de l'eau d'alimentation a l'entree du condenseur du 10 ^{eme} etage	11
I-5-4- Calcul du debit de vapeur dans le rechauffeur principal	12
I-5-5- Calcul des capacites reelles de production de chaque etage	13
I-5-6- Calcul des sections de passage de l'eau d'alimentation	14
I-5-7- Calcul des sections de passage du distillat d'un etage vers l'autre	14
I-5-8- Calcul de l'apport energetique necessaire aux unites de dessalement	15

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : ETUDE DU DESSALEMENT	
I-1- Distribution et classification des eaux	3
I-2- Methodes de dessalement des eaux de mer	4
I-3- Presentation des differents procedes de dessalement	4
I-3-1- Le mutiflash (M.S.F)	4
I-3-1-1- M.S.F avec recyclage	5
I-3-1-2- M.S.F sans recyclage	5
I-3-2- Distillation a effet multiple (M.E.D)	5
I-3-2-1- Distillation a effet multiple avec evaporateur a tubes horizontaux	5
I-3-2-2- Distillation a effet multiple avec evaporateur a tubes verticaux	6
I-3-3- Osmose inverse (R.O)	7
I-4- Autres procedes	7
I-4-1- Congelation	7
I-4-2- Distillation par effet solaire	8
I-4-3- Electrodialyse (E .D)	8
I-5- Etude de l'installation de dessalement	8
I-5-1- Calcul du debit d'eau d'alimentation	9
I-5-2- Debit specifique de saumure	11
I-5-3- Temperature de l'eau d'alimentation a l'entree du condenseur du 10 ^{eme} etage	11
I-5-4- Calcul du debit de vapeur dans le rechauffeur principal	12
I-5-5- Calcul des capacites reelles de production de chaque etage	13
I-5-6- Calcul des sections de passage de l'eau d'alimentation	14
I-5-7- Calcul des sections de passage du distillat d'un etage vers l'autre	14
I-5-8- Calcul de l'apport energetique necessaire aux unites de dessalement	15

REMERCIEMENTS :

Nous tenons à remercier Monsieur B.TATAH, directeur du secrétariat d'état à la recherche pour nous avoir donné l'occasion d'aborder dans le cadre de notre projet de fin d'études un sujet aussi ardu que passionnant , ainsi que pour avoir mis à notre disposition tous ce qui etait nécessaire pour la bonne marche de ce travail .

Nous adressons également nos vifs remerciements à Monsieur S.LARBI , enseignant à l'E.N.P pour sa permanente sollicitude ainsi que pour ses conseils de valeur qui nous ont énormément aidés .

Notre gratitude va également vers Messieurs S.GANESAN et T.ZIDI de l'A.I.E.A qui ont effectué pour nous des passages sur le code WIMS-D4 , ainsi que vers Messieurs K.AMARA , conservateur de la bibliotheque de l'E.N.P , Y.GRAR et S.HACHED du laboratoire architecture des systemes qui etaient disponibles à chaque fois qu'on les a sollicite sans oublier nos amis N.CHIKHI , L.SIAOUI , K.NOUAL , A.OUALI , A.ZAIT et K.MAACHOU .

Que toutes les personnes qui ont contribué un tant soit peu à ce travail et dont les noms ne sont pas cités , trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude .

DEDICACES

JE DEDIE CE TRAVAIL A MES
CHERS PARENTS
A MES CHERS SOEURS
A MON FRERE AHCENE
ET A TOUS MES AMIS
BAYACHE

JE DEDIE CE MODESTE TRAVAIL
A MES CHERS PARENTS
A MES FRERES ET SOEURS
ET A MES AMI(E)S
TAMMED

DEDICACES

JE DEDIE CE TRAVAIL A MES

CHERS PARENTS

A MES CHERS SOEURS

A MON FRERE AHCENE

ET A TOUS MES AMIS

BAVAHE

JE DEDIE CE MODESTE TRAVAIL

A MES CHERS PARENTS

A MES FRERES ET SOEURS

ET A MES AMI(S)

TAHMED

DEDICACES

JE DEDIE CE TRAVAIL A MES

CHERS PARENTS

A MES CHERS SOEURS

A MON FRERE AHCENE

ET A TOUS MES AMIS

BAYACHE

JE DEDIE CE MODESTE TRAVAIL

A MES CHERS PARENTS

A MES FRERES ET SOEURS

ET A MES AMI(E)S

TAHMED

ملخص:
في هذا العمل قد درسنا مفاعل نووي ذو واستطاعة
200 ميغاواط حراري لتحلية مياه البحر بطريقة م.س.ف.

RESUME:

Dans le cadre de ce projet , on a etudie un reacteur nucleaire
d'une puissance de 200 Mwth pour le dessalement d'eau de mer
suivant le procede M.S.F.

ABSTRACT:

In this work we have analysed some elements of a nuclear
reactor for seawater desalination according to an M.S.F
process .

ملخص:
في هذا العمل قد درسنا مفاعل نووي ذو واستطاعة
200 ميغاواط حراري لتحلية مياه البحر بطريقة م.س.ف.

RESUME :

Dans le cadre de ce projet , on a etudie un reacteur nucleaire
d'une puissance de 200 Mwth pour le dessalement d'eau de mer
suivant le procede M.S.F.

ABSTRACT :

In this work we have analysed some elements of a nuclear
reactor for seawater desalination according to an M.S.F
process .

ملخص:
في هذا العمل قد درسنا مفاعل نووي ذو استطاعة
200 ميغاواط حراري لتحلية مياه البحر بطريقة م.س.ف.

RESUME :

Dans le cadre de ce projet , on a etudie un reacteur nucleaire
d'une puissance de 200 Mwth pour le dessalement d'eau de mer
suivant le procede M.S.F.

ABSTRACT :

In this work we have analysed some elements of a nuclear
reactor for seawater desalination according to an M.S.F
process .