

ELECTRICITE DE FRANCE

DIRECTION DES ETUDES ET RECHERCHES

Service Ensembles de Production

82 H4 06344

EDF-82H406344**DÉPARTEMENT "OPTIMISATION
ET AUTOMATISATION DES PROCESSUS"**

6, QUAI WATIER - 79000 CHATOU

TEL. : 071 72-44

SJARRY P.

Décembre 1981

**PRESENTATION SUCCINCTE DU MODELE
NUMERIQUE DE PRESSURISEUR DE
TRANCHE NUCLEAIRE A EAU LEGERE
Description et validation**

Rapport HP 40/81/347

27 pages

Résumé

Ce document constitue un résumé succinct :

- du rapport HP 40/81/344 qui décrit en détail le modèle ;
- du rapport à paraître qui présente la validation du modèle.

Il a fait l'objet d'une publication dans le recueil des communications de la journée d'étude sur "la validation des modèles" organisée par l'A.F.C.E.T., le 3 décembre 1981, à l'Université Claude Bernard de LYON.

Après la description du modèle de pressuriseur et de son couplage à la tranche nucléaire, la note présente les différentes étapes de la validation :

- validation du comportement qualitatif global,
- validation du modèle de pressuriseur en boucle ouverte,
- validation des chaînes de réglage de pression et de niveau,
- simulation de deux grands transitoires effectués à la centrale de BUGEY.

S O M M A I R E

1 - DESCRIPTION DU MODELE DE PRESSURISEUR

- 1.1. Description du pressuriseur et principe de ses chaînes de réglage
- 1.2. Objet du modèle
- 1.3. Présentation du modèle
- 1.4. Couplage du pressuriseur à la tranche nucléaire

2 - VALIDATION DU MODELE DE PRESSURISEUR

- 2.1. Préambule
- 2.2. Objet de la validation
- 2.3. Validation du comportement qualitatif global
- 2.4. Validation du modèle de pressuriseur en boucle ouverte
 - 2.4.1. Validation du jeu de fonctions thermodynamiques
 - 2.4.2. Détermination du coefficient d'évaporation de la phase liquide
 - 2.4.3. Détermination du coefficient de condensation de la phase vapeur
- 2.5. Validation des chaînes de réglage de pression et de niveau
 - 2.5.1. Chaîne de régulation de pression
 - 2.5.2. Chaîne de régulation de niveau
- 2.6. Simulation de deux grands transitoires effectués à la centrale de BUGEY

CONCLUSION

1 - DESCRIPTION DU MODELE DE PRESSURISEUR

1.1 - Description du pressuriseur et principe de ses chaînes de réglage

Pour assurer des caractéristiques (température et pression) de vapeur acceptables pour la production d'électricité dans le circuit secondaire d'une tranche nucléaire, il faut rechercher une température moyenne du fluide primaire aussi élevée que possible. Cela conduit à une pression primaire élevée : en effet, cette pression doit être supérieure à la pression de saturation correspondant à la température de l'eau en sortie du coeur, de façon à éviter l'ébullition de l'eau qui provoquerait la fusion du combustible nucléaire. Ainsi, pour une tranche de puissance électrique 900 MWe, la pression de fonctionnement normale choisie est de 155 bar.

Pour établir et maintenir la pression à sa valeur nominale, il est prévu une enceinte, appelée pressuriseur, qui contient à la fois de l'eau à l'état liquide et de l'eau à l'état de vapeur, les deux phases en présence étant normalement en équilibre à la pression désirée. Pour situer le pressuriseur par rapport à l'ensemble de la tranche, nous rappelons en figure 1.1 le schéma de principe d'une tranche nucléaire de type PWR 900 MWe. Sur ce schéma, par souci de clarté, une seule des trois boucles du circuit primaire -celle justement où se trouve le pressuriseur- a été représentée.

Le pressuriseur (voir figure 1.2) est un réservoir cylindrique disposé verticalement. La partie basse (zone liquide) est reliée à la branche chaude de l'une des trois boucles primaires par une tuyauterie dite d'expansion. La partie haute (zone vapeur) est reliée d'une part aux branches froides de deux boucles primaires différentes par l'intermédiaire d'une tubulure d'aspersion terminée par une pomme d'arrosage et d'autre part à un réservoir -dit réservoir de décharge- où la vapeur excédentaire peut être condensée et refroidie.

Le maintien de la pression primaire à sa valeur de consigne est assuré à l'aide de deux systèmes de régulation complémentaires (voir figure 1.3) :

- La régulation de pression qui maintient l'équilibre eau-vapeur à la température de saturation correspondant à la pression de consigne en utilisant les trois dispositifs suivants :

- . les chaufferettes (ce sont des résistances électriques noyées dans la phase liquide qui permettent d'augmenter la pression régnant dans le pressuriseur) ;
 - . le circuit d'aspersion (c'est une douche d'eau froide qui provoque la condensation d'une partie de la vapeur, et donc la diminution de la pression) ;
 - . le circuit de décharge de vapeur (qui permet d'évacuer rapidement la vapeur lorsque la pression atteint une valeur trop élevée).
- La régulation de niveau qui permet de maintenir le niveau du pressuriseur égal à une valeur de consigne ; cette consigne dépend de la température moyenne de l'eau primaire, suivant une loi linéaire se rapprochant le plus possible de l'évolution du niveau du pressuriseur qui se produit naturellement par l'effet de la dilatation ou de la contraction de la masse d'eau primaire. Ainsi, les variations de masse d'eau du circuit primaire sont-elles minimisées, ce qui limite le volume des effluents. Cette régulation utilise les deux dispositifs suivants :
- . le circuit de charge (qui permet d'injecter dans le circuit primaire de l'eau en provenance du circuit de contrôle chimique et volumétrique ; en régime nominal, le débit de charge compense le débit de décharge constant extrait du circuit primaire à des fins de purification et de conditionnement) ;
 - . les chaufferettes (qui provoquent l'évaporation de l'eau excédentaire lorsque le niveau atteint une valeur trop élevée).

1.2 - Objet du modèle

Sur le schéma de la figure 1.3, on voit que :

- Le pressuriseur communique avec son environnement extérieur par trois voies :
 - . la tuyauterie d'aspersion,
 - . la tuyauterie d'expansion,
 - . la tuyauterie de détente.

- Le circuit primaire communique avec le circuit de contrôle chimique et volumétrique par deux voies :

- . la tuyauterie de charge,
- . la tuyauterie de décharge.

Si l'on excepte la tuyauterie de détente (normalement très rarement sollicitée) et la tuyauterie de décharge (normalement parcourue par un débit constant), il est clair que les trois autres tuyauteries citées sont parcourues par des débits variables et mettent en communication des enceintes contenant des fluides à des températures nettement différentes ; à titre indicatif, à pleine charge :

- température de l'eau d'aspersion : 285 °C,
- température des deux phases du pressuriseur : 345 °C,
- température de branche chaude du circuit primaire : 323 °C.

En conséquence, les tuyauteries d'aspersion, d'expansion et de charge subissent des gradients de température importants ; d'où la naissance de contraintes thermiques, qui sont préoccupantes vis-à-vis de la sécurité et de la fiabilité de l'installation.

On conçoit que ces contraintes dépendent fortement du schéma de réglage adopté, et l'expérience a montré que le schéma actuel n'était pas optimal de ce point de vue.

Le but de l'étude en découle immédiatement : il s'agit d'examiner par la simulation si, en substituant aux deux chaînes de régulation mono-variables actuelles -qui sont entièrement découplées- une régulation multi-variable, il est possible de réduire les contraintes, et ce, lorsque la tranche fonctionne en télé-régulation, c'est-à-dire lorsque la charge est modulée de $\pm 5\%$ autour de la charge nominale.

1.3 - Présentation du modèle

La structure modélisée est schématisée en figure 1.4. Le pressuriseur est représenté par un cylindre en communication, par sa partie inférieure, avec le circuit primaire qui envoie ou qui reçoit un débit d'expansion QEX. La partie supérieure est fermée, et la vapeur ne peut s'échapper que lorsque les vannes de décharge de vapeur sont ouvertes (débit de sortie QS). Les chaufferettes dissipent la puissance thermique W et l'aspersion apporte un débit QA d'eau froide d'enthalpie massique HA.

Les principales grandeurs utilisées dans le modèle sont rassemblées dans le tableau 1.1.

Principales hypothèses physiques

Les cinq principales hypothèses physiques sont les suivantes :

- 1/ Décomposition du pressuriseur en deux phases
("phase liquide", notée L et "phase vapeur", notée V).
- 2/ Homogénéité des deux phases en titre de vapeur sèche, pression et température (modèle ponctuel).
- 3/ Déséquilibre thermodynamique entre les deux phases
(on considère une température différente pour chaque phase).
- 4/ Processus d'échanges de chaleur et de masse entre les deux phases :
 - a/ Evaporation de la phase liquide

Elle correspond à une tendance spontanée de retour du système à l'équilibre thermodynamique .

$$QEV = KV.ML.XL$$

QEV est supposé proportionnel à la masse de vapeur d'eau contenue dans la phase liquide.

Cette vapeur transite de la phase liquide à la phase vapeur avec l'enthalpie de vapeur saturante, soit HVS.

h/ Condensation "normale" de la phase vapeur

$$QCN = KC.MV.(1 - XV)$$

QCN est proportionnel à la masse de liquide contenue dans la phase vapeur.

c/ Condensation de vapeur due à l'aspersion

On suppose que :

- la totalité de l'eau froide d'aspersion (enthalpie HA) se réchauffe au cours de la traversée de la phase vapeur et atteint l'état de liquide saturant (enthalpie HLS) ;
- la puissance calorifique ainsi prélevée à la phase vapeur provoque localement, autour des gouttelettes d'aspersion, le refroidissement et la condensation d'un débit QCA de vapeur, qui voit son enthalpie chuter de HV à HLS.

d/ Condensation de vapeur sur la paroi froide du pressuriseur

Lorsque la paroi du pressuriseur (supposée à température uniforme) est plus froide que la phase vapeur, elle refroidit celle-ci, ce qui provoque la condensation d'un débit QCP de vapeur.

5/ Processus d'échange de chaleur des deux phases avec la paroi :

Les phases liquide et vapeur échangent respectivement avec la paroi
Les flux de chaleur WPL et WPV, qui sont calculés par une loi de conduction de la forme :

$$WP = C.S.(T - TPAR)$$

avec :

- WP : puissance cédée à la paroi par la phase considérée,
- C : coefficient d'échange de chaleur paroi/phase considérée,
- S : surface d'échange paroi/phase considérée,
- T : température de la phase considérée,
- TPAR : température de la paroi.

En résumé, les flux énergétiques échangés entre les différents éléments du modèle sont rassemblés dans la figure 1.5.

Le modèle élaboré est ainsi un modèle physique ponctuel, ne comportant que des équations algèbro-différentielles (au nombre de 33) que l'on peut ranger en deux groupes :

- Les équations principales, à savoir :

- . l'équation de conservation du volume total,
- . l'équation de bilan de masse pour chaque phase,
- . l'équation de bilan d'énergie pour chaque phase.

- Les équations auxiliaires, qui définissent des termes intervenant dans les équations principales, tels que :

- . les débits d'évaporation et de condensation,
- . les variables thermodynamiques de l'eau,...

La méthode de résolution numérique des équations consiste simplement à calculer d'abord, à l'aide d'un algorithme d'intégration de RUNGE-KUTTA d'ordre deux, les variables d'état, puis à résoudre telles quelles, de proche en proche, les équations algébriques pour en déduire toutes les autres variables.

Le modèle comporte les six grandeurs d'entrée suivantes :

- débit d'aspersion QA,
- ouverture des vannes de décharge de vapeur KS,
- puissance calorifique fournie par les chaufferettes W,
- débit d'expansion QEX,
- enthalpie d'aspersion HA,
- enthalpie de branche chaude HC.

Enfin, le modèle est complété par la simulation des chaînes de réglage de la pression et du niveau du pressuriseur.

1.4 - Couplage du pressuriseur à la tranche nucléaire

Notre étude nécessite de replacer le pressuriseur dans son contexte. L'interaction du pressuriseur et de la tranche nucléaire est décrite en figure 1.6 ; les nouvelles grandeurs qui apparaissent sur ce schéma sont explicitées ci-dessous :

- CWE : amplitude de la variation de la consigne de puissance électrique (exprimée en % de la puissance nominale).
- TC : température de l'eau de branche chaude du circuit primaire.
- TF : température de l'eau de branche froide du circuit primaire.
- TMOY : température moyenne du fluide primaire :

$$TMOY = (TC + TF) / 2$$
- DELTAT : écart de température entre les branches chaude et froide :

$$DELTAT = TC - TF$$
- TP : "température équivalente" du fluide primaire : c'est une température fictive qui est introduite pour le calcul de la dilatation du fluide primaire.
- QDIL : débit massique qui prend naissance dans la jambe d'expansion du pressuriseur, suite à la dilatation du fluide primaire.
- QI : débit d'injection = différence entre le débit de charge et le débit de décharge.

On voit que l'état de la tranche, vue par le pressuriseur, est entièrement décrit par les températures TMOY, DELTAT et TP du fluide primaire.

Pour simplifier le problème, on admet que la température TP peut être assimilée à TMOY.

En pratique, pour disposer de TMOY et DELTAT, on fera appel à l'un des deux moyens suivants :

- utilisation d'un modèle "simplifié" de la tranche, le code LILLIPUT, qui n'est valable que pour des excursions de $\pm 15\%$ de la puissance nominale : ce modèle élabore TMOY et DELTAT à partir de CWE ;
- utilisation de courbes expérimentales.

2 - VALIDATION DU MODELE DE PRESSURISEUR

2.1 - Préambule

La première idée qui vient à l'esprit est d'effectuer l'identification en boucle ouverte sur le site du pressuriseur, par exemple en procédant à une analyse indicielle (l'échelon étant le signal le plus facile à mettre en oeuvre sur une tranche nucléaire).

Mais on se heurte alors à une double difficulté insurmontable :

- les lacunes de l'instrumentation (les débits d'aspersion QA et d'expansion QEX ne sont pas mesurés ...) ;
- la réticence de l'exploitant, qui, d'une part, est accaparé par d'autres tâches et, d'autre part, redoute par principe les essais en boucle ouverte.

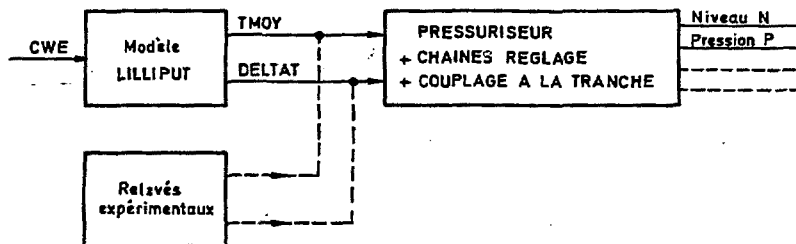
Il nous faut donc renoncer à cette voie et valider le modèle :

- par comparaison avec d'autres modèles ;
- par confrontation avec des essais en boucle fermée figurant dans divers rapports d'essais.

On voit alors surgir un autre problème qui nous oblige à être très prudents sur l'interprétation quantitative des résultats obtenus : la pauvreté des documents disponibles en données des paramètres (comme les paramètres des régulateurs) qui caractérisent l'état de l'installation au moment de l'essai.

2.2 - Objet de la validation

Il s'agit de valider non pas seulement le modèle de pressuriseur pris isolément, mais l'ensemble constitué par le pressuriseur, ses chaînes de réglage et le couplage à la tranche nucléaire. Si bien que l'ensemble à valider peut être représenté de la façon suivante :



2.3 - Validation du comportement qualitatif global

(C'est-à-dire validation du modèle de pressuriseur rebouclé par ses chaînes de réglage et couplé au modèle LILLIPUT).

Elle est effectuée par comparaison avec deux essais provenant de la centrale de TIHANGE 1. Il s'agit de variations instantanées de + 10 % et - 10 % de la pleine charge.

L'intérêt que présentent pour nous ces essais est double :

- ils permettent de valider globalement l'ensemble des deux modèles (LILLIPUT et le modèle de pressuriseur) et leur couplage, car la grandeur sollicitante est CWE ;
- on dispose des enregistrements de deux grandeurs internes au modèle de pressuriseur, à savoir les températures des deux phases.

Ce sont là deux propriétés que n'ont pas tous les autres essais que nous avons rassemblés.

Cependant, la comparaison ne peut être que qualitative, car nous ignorons tout des paramètres de cette tranche, qui n'est pas du type 900 MWe FRAMATOME adopté comme référence pour le modèle. La comparaison -qui fait l'objet de la figure 2.1- montre que le comportement du modèle est cohérent.

2.4 - Validation du modèle de pressuriseur en boucle ouverte

Il s'agit de :

- valider le jeu d'équations de calcul des fonctions thermodynamiques ;
- déterminer les valeurs des paramètres KV et KC.

2.4.1 - Validation du jeu de fonctions thermodynamiques

Dans ce but, nous allons comparer le comportement de notre modèle avec un modèle de formulation analogue établi au CEA et intégré dans le code PICOLO.

Le CEA insiste sur le fait que la qualité des résultats de simulation dépend considérablement de la précision avec laquelle les fonctions thermodynamiques de l'eau sont représentées. Pour mettre en évidence cette propriété, le CEA a procédé à l'essai suivant, très sévère vis-à-vis de la précision des fonctions thermodynamiques :

- les chaînes de réglage de pression et de niveau sont débranchées ;
- on simule un échelon positif (c'est-à-dire dans le sens d'une intrusion d'eau dans le pressuriseur) sur le débit d'expansion :

$$QEX = + 680 \text{ kg/s}$$

Le CEA a effectué cet essai deux fois, avec le même modèle, mais en faisant appel à deux classes différentes de fonctions thermodynamiques, repérées (I) et (II).

Les résultats obtenus par le CEA sont tracés en traits pointillés sur la figure 2.2, où le trait plein correspond à l'enregistrement obtenu avec notre modèle. On voit que cet essai permet de reconnaître la validité de notre jeu d'équations de calcul des fonctions thermodynamiques.

2.4.2 - Détermination du coefficient d'évaporation de la phase liquide

On reproduit l'essai suivant effectué par le CEA sur son modèle :

- les chaînes de réglage de pression et de niveau sont débranchées ;
- on simule un créneau sur le débit d'expansion :

$$QEX = + 680 \text{ kg/s pendant 10 secondes, puis } - 680 \text{ kg/s.}$$

Les résultats de cet essai sont comparés à ceux procurés par le code américain de A. PARRY -que le CEA a choisi comme référence (voir figure 2.3).

Cet essai nous permet de déterminer la valeur du paramètre KV, c'est-à-dire le coefficient d'évaporation de la phase liquide (défini dans le paragraphe 1.3, hypothèse 4/a) qui se révèle très sensible sur l'amplitude du pic de pression : le tracé donné en figure 2.3, qui approche mieux le code de A. PARRY que le modèle du CEA, est obtenu en fixant :

$$KV = 0,04 \text{ s}^{-1}$$

valeur qui est définitivement adoptée dans notre modèle.

Remarque :

L'ordre de grandeur obtenu est en accord avec l'interprétation physique qui peut être donnée de ce coefficient : KV est l'inverse du temps moyen de montée des bulles de vapeur à travers la phase liquide ; la valeur de KV trouvée correspond à un temps de 25 s, ce qui est concevable.

2.4.3 - Détermination du coefficient de condensation de la phase vapeur

La valeur du paramètre KC, c'est-à-dire le coefficient de condensation de la phase vapeur, est quant à elle déterminée à partir d'un essai -que nous ne faisons pas figurer dans ce document : KC est choisi de façon à avoir une efficacité de l'aspersion du même ordre de grandeur que celle observée sur le site ; nous avons adopté ainsi :

$$KC = 2 \text{ s}^{-1}$$

Remarque :

La valeur de KC trouvée correspond à un temps moyen de chute des gouttes d'eau à travers la phase vapeur égal à 0,5 s ; c'est là un ordre de grandeur tout à fait acceptable, si l'on remarque que le temps de chute libre d'une goutte d'eau est -compte tenu de la hauteur nominale de la phase vapeur- de l'ordre d'une seconde.

2.5 - Validation des chaînes de réglage de pression et de niveau

2.5.1 - Chaîne de régulation de pression

On confronte cette fois le modèle à un essai réel, qui est effectué sur le site au moment des essais précritiques à chaud, et dont l'objet est de qualifier la chaîne de régulation de pression.

Le schéma de principe de cette chaîne est donné en figure 2.4.

L'essai comporte deux étapes :

- on laisse d'abord évoluer la pression en plaçant sur le mode manuel le relais de commande intermédiaire, et en affichant une valeur différente de la valeur de régime permanent (50 %) ;
- puis, lorsque la pression a varié d'environ 3 bar, on passe le relais en mode automatique, et on observe le retour de la pression à sa valeur de consigne par l'effet de la régulation.

Les résultats obtenus en simulation sont comparés (voir figure 2.4) aux enregistrements relevés sur la tranche de BUGEY 5.

Commentaires

- la concordance modèle-processus est très bonne pour le signal de pression et pour le signal de sortie du régulateur ;
- par contre, le signal de commande des vannes d'aspersion enregistré sur le site dure plus longtemps et atteint une amplitude trois fois plus grande que le signal obtenu en simulation ; cette discordance est due à un mauvais affichage signalé dans le rapport d'essais- du seuil d'ouverture et de fermeture des vannes d'aspersion, sur le site.

2.5.2 - Chaîne de régulation de niveau

Là encore, on confronte le modèle à un essai réel effectué à BUGEY 5 au moment des essais précritiques à chaud.

Le schéma de principe de la chaîne de régulation de niveau est donné en figure 2.5.

L'essai comporte les étapes suivantes :

- initialement (à $t < 0$), on est en régime permanent : le niveau est constant et les débits de charge et de décharge sont égaux à $8 \text{ m}^3/\text{h}$;
- on porte alors instantanément (à $t = 0$) le débit de décharge à $21,4 \text{ m}^3/\text{h}$, ce qui provoque la baisse du niveau : la régulation de niveau réagit et ramène le niveau à sa valeur de consigne en jouant sur le débit de charge ;
- lorsque l'on est revenu au régime permanent (débits de charge et de décharge égaux à $21,4 \text{ m}^3/\text{h}$), on ramène instantanément (à $t = 80 \text{ mn}$) le débit de décharge à sa valeur initiale.

Les résultats obtenus en simulation sont comparés (voir figure 2.5) aux enregistrements relevés à BUGEY 5.

La concordance simulation-processus est excellente.

2.6 - Simulation de deux grands transitoires effectués à la centrale de BUGEY

La validation proprement dite est maintenant achevée.

Pour tester le modèle de pressuriseur rebouclé par ses chaînes de réglage et le couplage à la tranche nucléaire, nous avons simulé à titre d'exemples deux grands transitoires effectués à la centrale de BUGEY.

Données disponibles :

Nous avons l'enregistrement de la température moyenne TMOY.

Par contre, nous n'avons :

- ni l'enregistrement de la puissance électrique,
- ni l'enregistrement de l'écart DELTAT des températures entre les branches chaudes et froides du circuit primaire.

Revenons au schéma de la figure 1.6. La température TP étant prise égale à TMOY, nous voyons que nous avons en principe besoin des grandeurs TMOY et DELTAT.

Cependant, l'influence de DELTAT étant moins importante, il est concevable d'effectuer la simulation en supposant DELTAT = constante, mais à condition de renoncer à une comparaison quantitative rigoureuse entre le modèle et le processus.

Conditions des essais :

- Entrée du modèle :

- . enregistrement de l'évolution expérimentale de TMOY.

- Sorties du modèle :

- . la pression dans le pressuriseur,
- . le signal de sortie du régulateur PID de la chaîne de réglage de pression,
- . le niveau du pressuriseur.

Essais simulés : il s'agit de :

- L'flotage de BUGEY 3 (c'est-à-dire la réduction brutale de la charge de la puissance nominale à la puissance des auxiliaires de la tranche), que l'on suit à court terme (moins de 1 minute) ;
- Un délestage de BUGEY 2 (en l'occurrence la réduction brutale de 70 % à 30 % de la puissance nominale), que l'on suit à long terme (plus de 10 minutes).

Résultats : (voir figures 2.6 et 2.7).

Commentaires :

L'allure des courbes obtenues par la simulation est correcte.

Les écarts modèle-processus s'expliquent principalement :

- par la non-prise en compte de l'évolution de DELTAT, qui joue un rôle important au tout début du transitoire ;
- par la non-connaissance du programme de consigne de niveau effectivement affiché sur la tranche : il en résulte des écarts importants sur l'évolution du niveau du pressuriseur.

CONCLUSION

Les résultats que l'on vient de présenter montrent que le modèle représente de façon satisfaisante le comportement du processus réel. Cependant, la simulation dépend fortement des valeurs de certains paramètres -notamment les paramètres de régulation-, si bien que l'on ne devra attendre du modèle des résultats quantitatifs corrects que si l'on a pu rassembler au préalable, de façon complète et précise, les valeurs des paramètres.

Outre l'utilisation qui a motivé l'élaboration du modèle -la régulation multivariable du pressuriseur-, ce modèle va être utilisé prochainement pour mener les deux études suivantes :

- optimisation des paramètres de la chaîne actuelle de régulation de pression dans le but de réduire les sollicitations des organes réglants ;
- expérimentation sur l'exemple du pressuriseur du "système d'aide au diagnostic" de l'opérateur actuellement à l'étude.

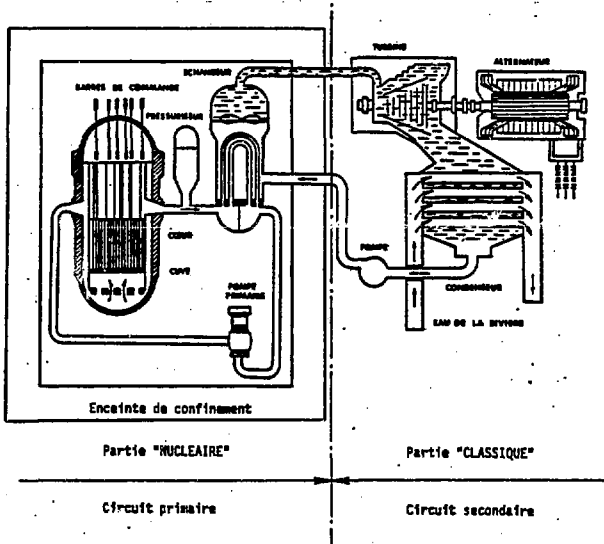


Figure 1.1 SCHEMA DE PRINCIPE
D'UNE TRANCHE NUCLEAIRE
P.M.R. 900 MWe

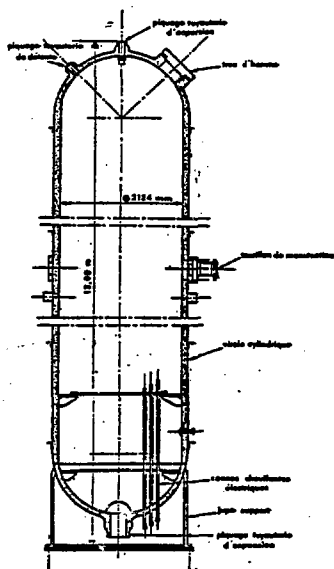


Figure 1.2
SCHEMA EN COUPE DU PRESSURISEUR

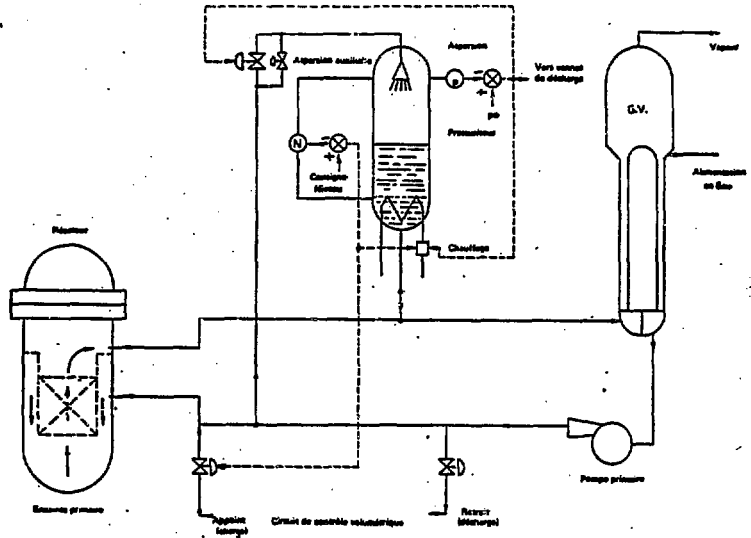
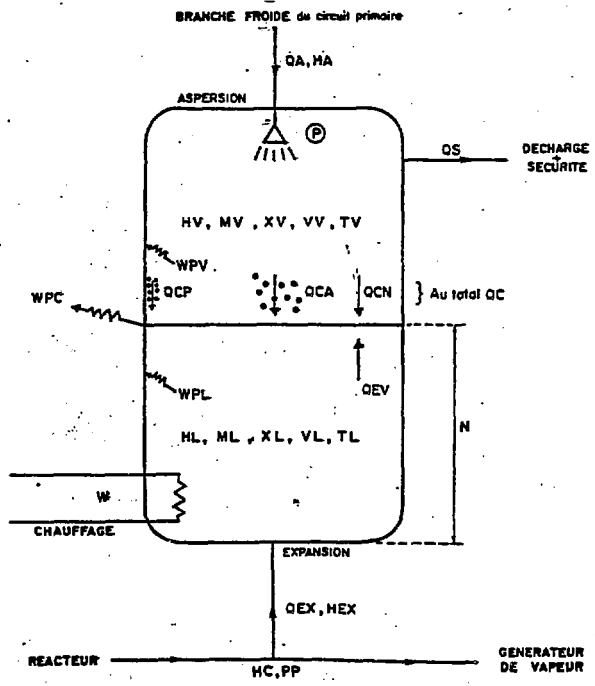


Figure 1.3 - SCHEMA DE PRINCIPE DES CHAINES DE REGLAGE DE PRESSION ET DE NIVEAU DU PRESSURISEUR



BRANCHE CHAUDE de circuit primaire

Figure 1.4

STRUCTURE MODELISEE ET NOTATIONS

CP	chaleur spécifique de la paroi du pressuriseur
G	accélération de la pesanteur
HA	enthalpie massique d'aspersion
HC	enthalpie massique de branche chaude du circuit primaire
HEX	enthalpie massique d'expansion
HF	enthalpie massique de branche froide du circuit primaire
HL	enthalpie massique de la phase liquide
HLS	enthalpie massique de saturation de l'eau liquide à la pression P
HV	enthalpie massique de la phase vapeur
HVS	enthalpie massique de saturation de la vapeur d'eau à la pression P
L	hauteur totale du pressuriseur
M	masse totale de la paroi du pressuriseur
ML	masse de la phase liquide
MV	masse de la phase vapeur
N	niveau de la séparation entre phases
P	pression régnant dans le pressuriseur
PP	pression du circuit primaire, au niveau du piquage de la tuyauterie d'expansion
QA	débit d'aspersion
QC	débit total de condensation de la phase vapeur
QCA	débit de condensation autour des gouttelettes d'aspersion
QCN	débit de condensation normale, par retour à l'équilibre thermodynamique
QCP	débit de condensation sur la paroi froide du pressuriseur
QEV	débit d'évaporation de la phase liquide
QEX	débit d'expansion
QS	débit de décharge ou de sécurité de la phase vapeur
RP	rayon intérieur du pressuriseur ($= \sqrt{V\beta / L \cdot \pi}$)
SP	section du pressuriseur ($= V\beta / L$)
TAMB	température ambiante au voisinage immédiat extérieur du pressuriseur
TL	température de la phase liquide
TPAR	température de la paroi
TS	température de saturation de l'eau à la pression P
TV	température de la phase vapeur
$V\beta$	volume interne du pressuriseur
VL	volume massique de la phase liquide
VLS	volume massique de saturation de l'eau liquide à la pression P
VV	volume massique de la phase vapeur
VVS	volume massique de saturation de la vapeur d'eau à la pression P
W	puissance calorifique fournie par les chauffettes
WPC	puissance calorifique cédée à l'extérieur par la paroi
WPL	puissance calorifique cédée à la paroi par la phase liquide
WPV	puissance calorifique cédée à la paroi par la phase vapeur
XL	titre massique en vapeur sèche de la phase liquide
XV	titre massique en vapeur sèche de la phase vapeur

Tableau 1.4

PRINCIPALES GRANDEURS UTILISEES DANS LE MODELE

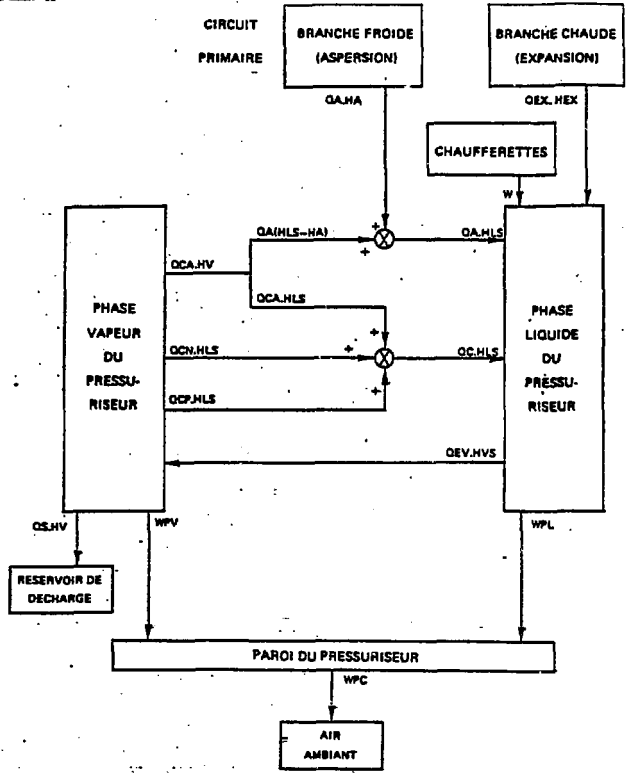


Figure 4.5- REPRESENTATION DES FLUX ENERGETIQUES

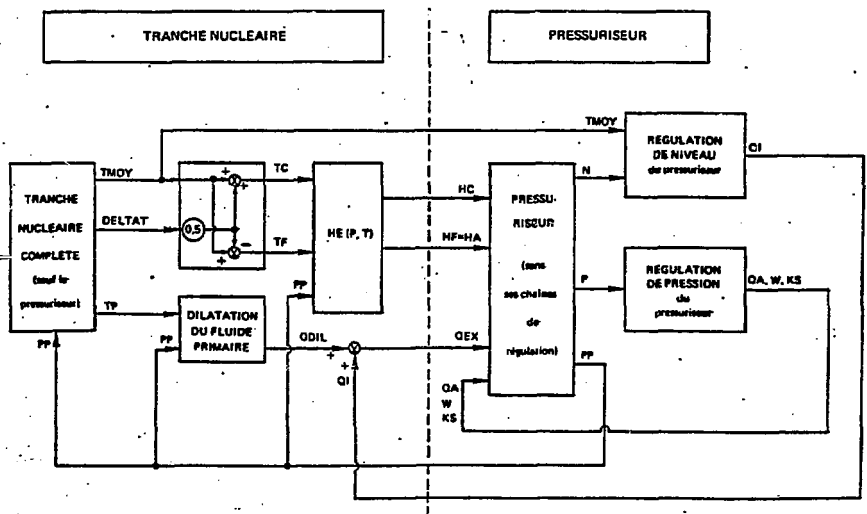
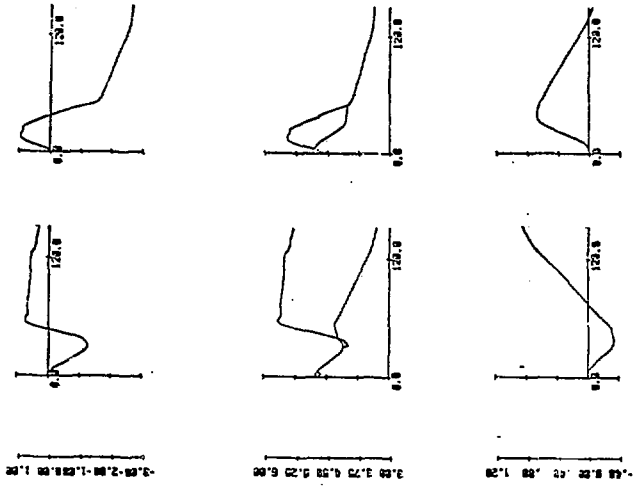


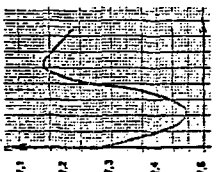
Figure 4.6- INTERACTION DU PRESSURISEUR ET DE LA TRANSCHE NUCLEAIRE

MÊMES ESSAIS SIMULÉS

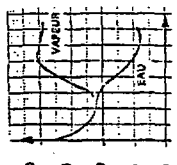


ESSAIS RÉELS

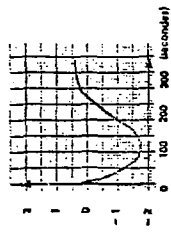
- PRESSION DU REFRIGÉRANT (bar)



- TEMPERATURE DU PRESSURISEUR (°C)



- VARIATION DU VOLUME D'EAU DU PRESSURISEUR (m³)



VARIAISON INSTANTANÉE DE $\pm 10\%$ LA PLEINE CHARGE (sauf dipartement le plus chargé)

VARIAISON INSTANTANÉE DE $\pm 10\%$ LA PLEINE CHARGE (025 MW) TRANSITIONNÈRES RESULTANT D'UNE VARIATION DE $\pm 10\%$ DE LA PLEINE CHARGE (025 MW) (GD3A)

Figure 3.1 -

VALIDATION DU COMPORTEMENT QUALITATIF GLOBAL DU MODÈLE

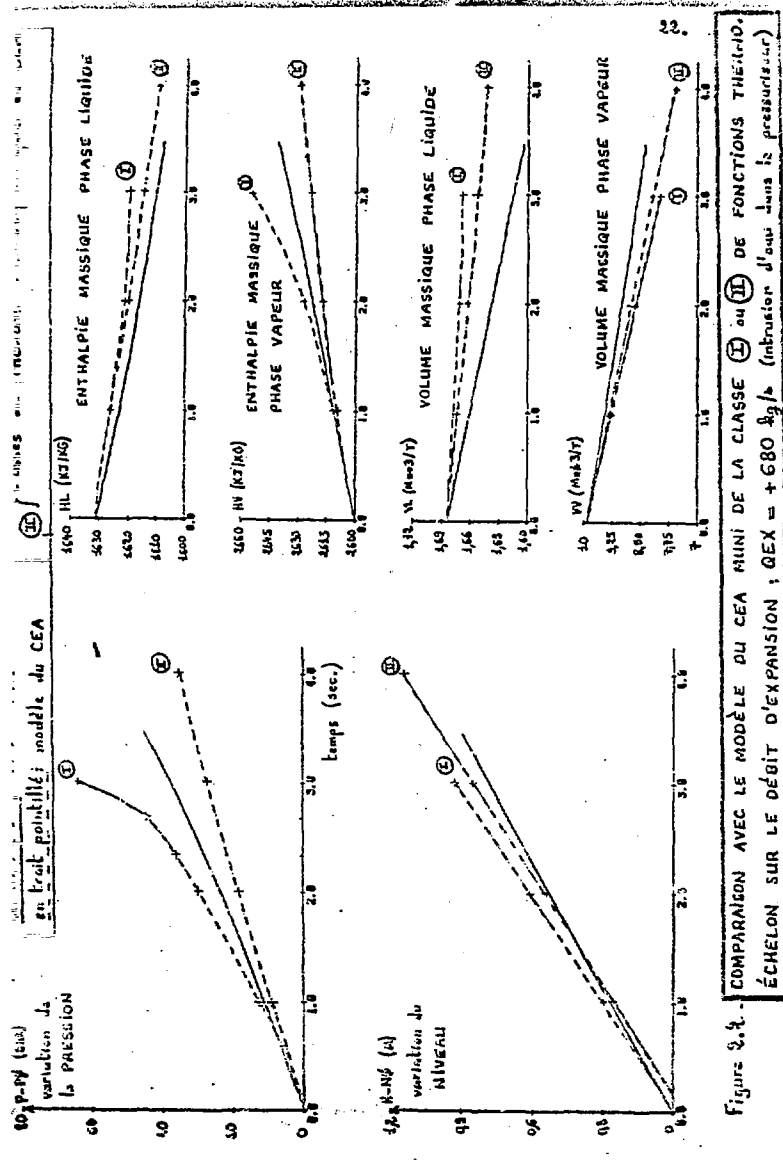


Figure 2.4.

en trait pointillé: modèle du CEA
 en trait continu: code de A. PARRY

en trait pointillé: modèle du CEA

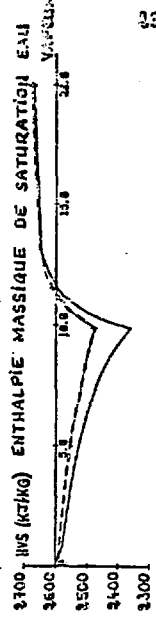
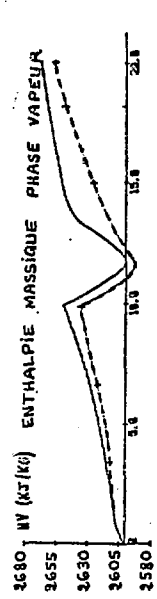
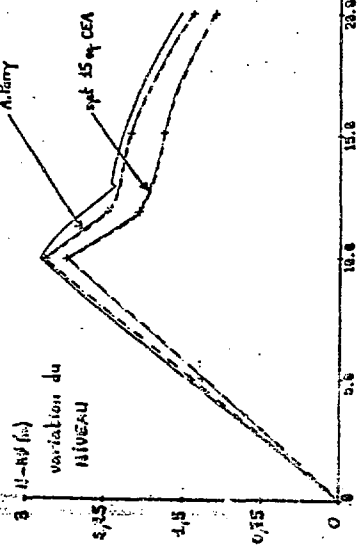
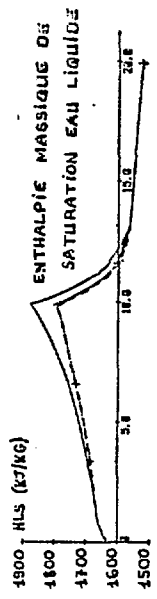
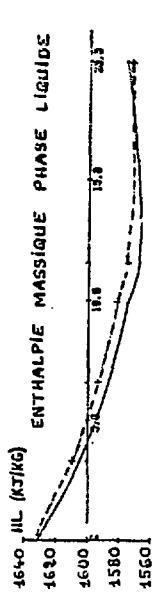
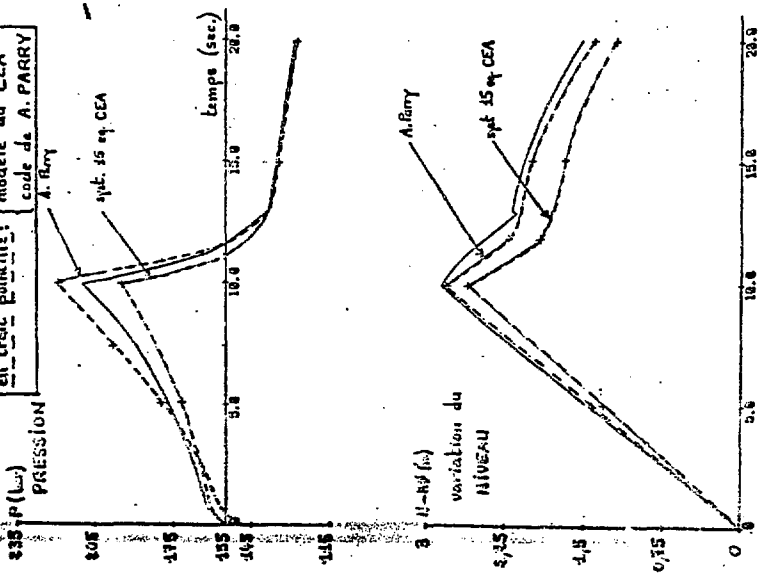
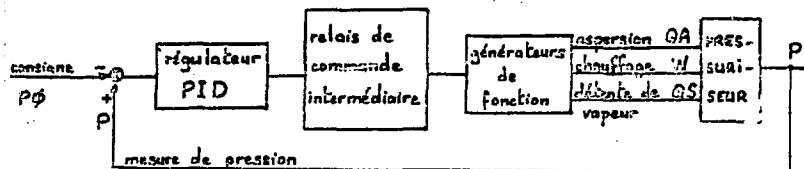


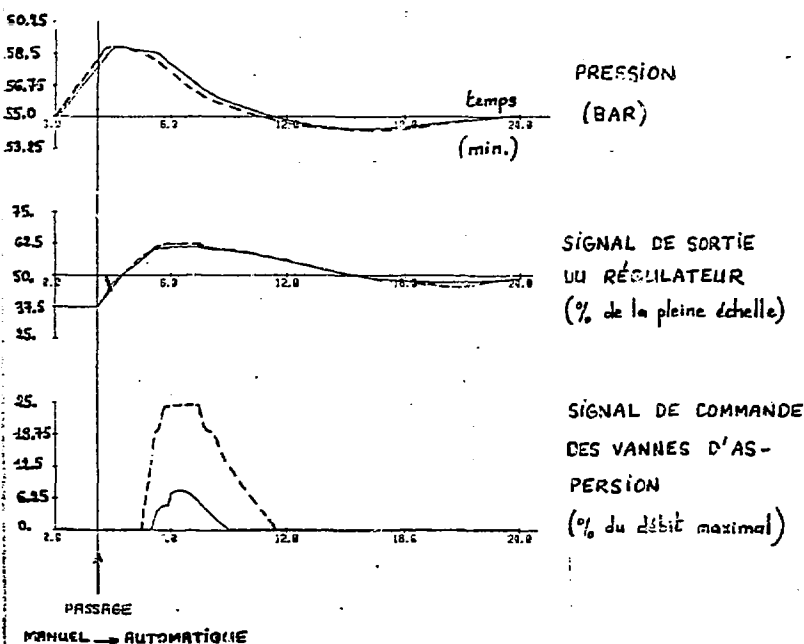
Figure 2.3 -

COMPARAISON AVEC LE MODELE DU CEA ET LE CODE DE A. PARRY (qui sert de référence) CRANEAU SUR LE DEBIT D'EXPANSION: QEX = +680 kg/s pendant 10 sec., puis -680 kg/s

Schéma de principe de la régulation de pression:



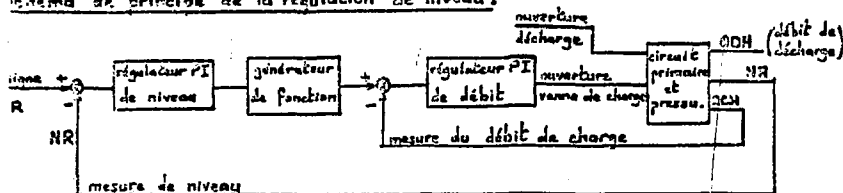
Essai pratique à chaud:



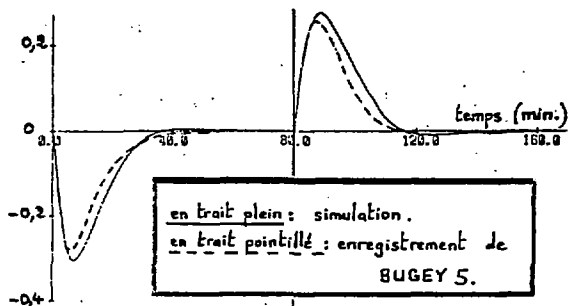
en trait plein: simulation

en trait pointillés: enregistrement de Bugay S

Schéma de principe de la régulation de niveau :

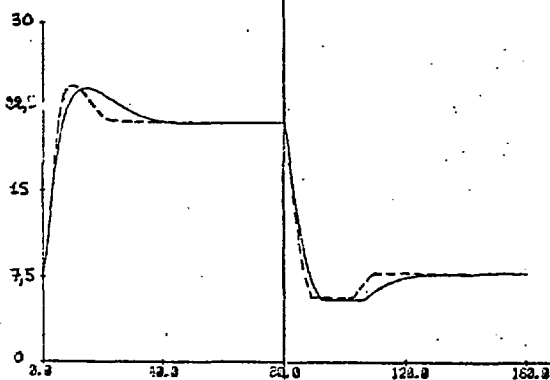


Essai pré-critique à chaud :



variation du
NIVEAU
(M)

DÉBIT DÉCHARGE = 21,4 m³/h DÉBIT DÉCHARGE = 8 m³/h



DÉBIT DE
CHARGE
(M³/H)

Conditions de l'essai : - le débit de décharge initial est de 3 m³/h
- la régulation de pression du pressuriseur
est hors service

Figure 2.5 - VALIDATION DE LA CHAÎNE DE RÉGULATION

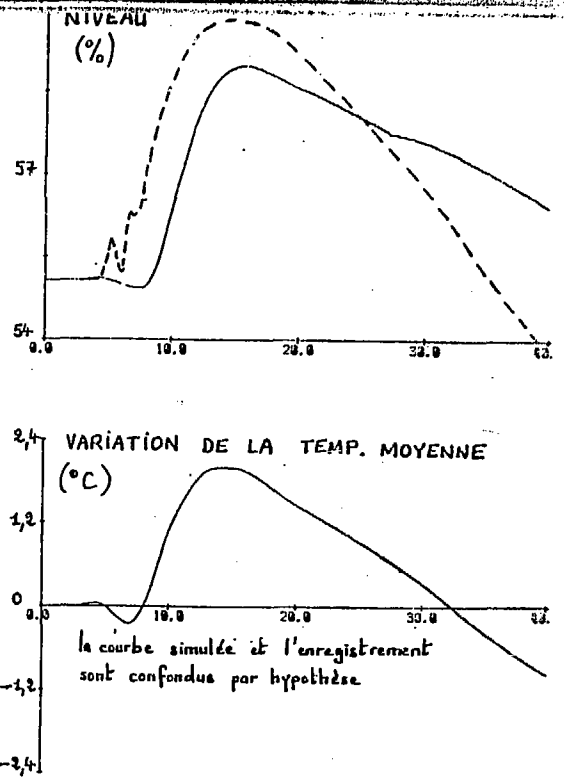
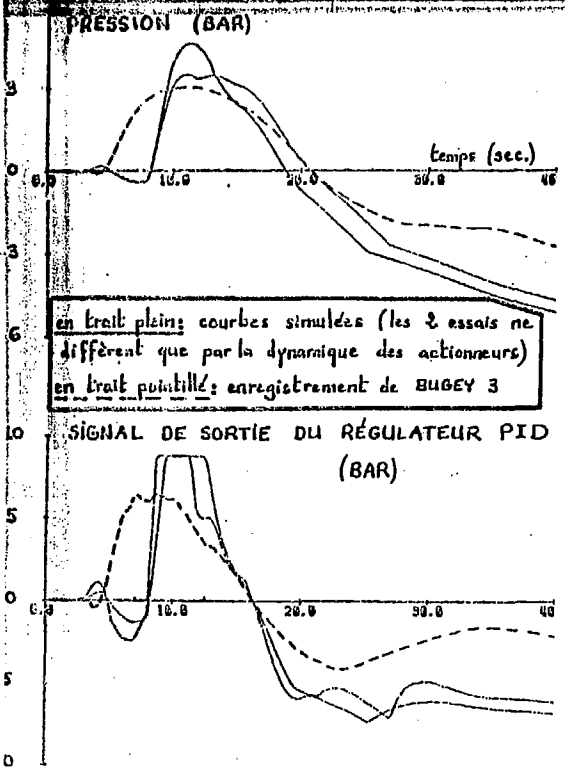


Figure 2.6 SIMULATION DE L'ILOTAGE DE BUGEY 3

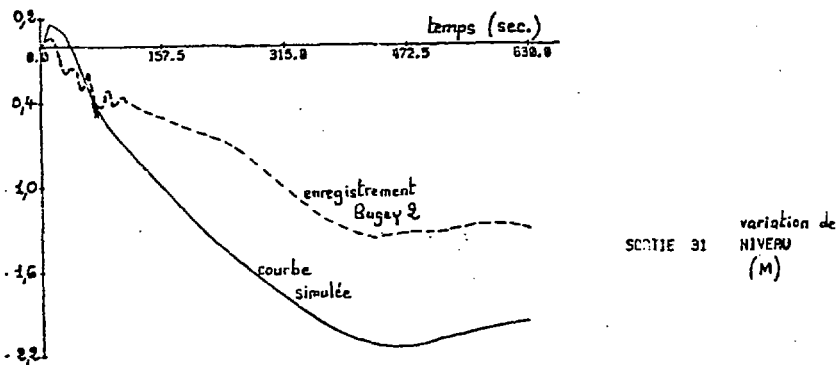
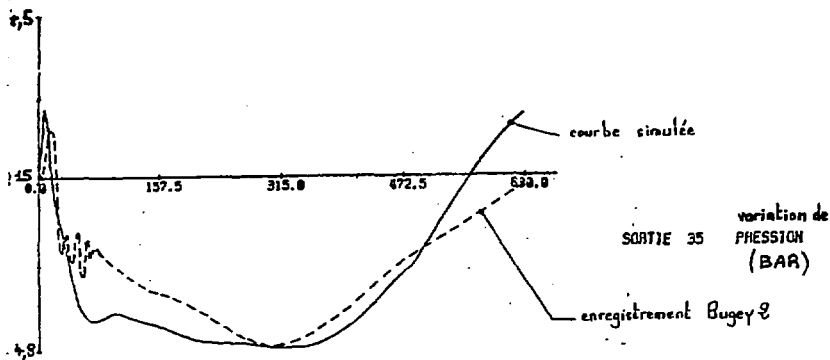


Figure 2.7 SIMULATION D'UN DÉLESTAGE DE BUGY 2
(réduction brutale de 70% à 30% de la
puissance nominale)