

Collection de notes internes
de la Direction
des Etudes et Recherches

HE FR



FR9810033

**Production d'énergie
(hydraulique, thermique
et nucléaire)**

**L'ACTIVITE D'ESSAIS SUR LES SITES DE
PRODUCTION NUCLEAIRE D'ELECTRICITE**

ON-SITE TESTS ON THE NUCLEAR POWER PLANTS

30 - 06

96NB00007



EDF

Direction des Etudes et Recherches

**Electricité
de France**

**SERVICE ENSEMBLES DE PRODUCTION
Département Retour d'Expériences Mesures-Essais**

Gestion INIS

Doc. enreg. ls : *Bul/10/52*
N° TRM :
Destination : I T I

Jun 1995

MORILHAT P.
FAVENNEC J.M.
NEAU P.
PREUDHOMME E.



FR9810033

**L'ACTIVITE D'ESSAIS SUR LES SITES DE
PRODUCTION NUCLEAIRE D'ELECTRICITE**

***ON-SITE TESTS ON THE NUCLEAR POWER
PLANTS***

Pages : 18

96NB00007

Diffusion : J.-M. Lecœuvre
EDF-DER
Service IPN. Département SID
1, avenue du Général-de-Gaulle
92141 Clamart Cedex

© Copyright EDF 1996

ISSN 1161-0611

SYNTHÈSE :

L'activité d'essais menée par la Direction des Etudes et Recherches d'EDF sur les sites de production d'électricité concerne la réalisation d'expertises sur site pour évaluer les conséquences des sollicitations d'origine thermique et vibratoire qui affectent les principaux composants des centrales nucléaires. Les études portent d'une part sur la réception du nouveau palier nucléaire 1450 MW, dont les nombreuses innovations technologiques doivent être validées, et d'autre part sur l'analyse du retour d'expérience des paliers nucléaires déjà en exploitation (900 et 1300 MW). La note rappelle le contexte de l'activité expérimentale dans cet environnement industriel, décrit les moyens et techniques mis en œuvre, et fournit un exemple d'application : les essais de réception des GV du nouveau palier nucléaire 1450 MW.

EXECUTIVE SUMMARY :

On-site tests and experiments are performed by EDF Research and Development Division on the nuclear power plants to assess the behaviour of major components submitted to thermal and vibratory solicitations. On-going studies deal with the qualification of new nuclear power plant standard and with the feedback of plants under operation. This paper addresses the on-site experimental activities, describes the means to be used, and gives an example : the qualification of SG of new 1450 MW nuclear power plants.

1. LE CONTEXTE DE L'ACTIVITE D'ESSAIS SUR LES SITES DE PRODUCTION D'ELECTRICITE

Les composants mécaniques des centrales nucléaires sont composés d'enceintes sous pression (cuve du réacteur, tuyauteries, générateurs de vapeur), de structures fixes dans un écoulement de fluide (structures internes du cœur, du générateur de vapeur ou du condenseur) et d'organes mobiles (pompes, robinets). En fonctionnement, ils sont essentiellement soumis à des sollicitations mécaniques d'origine statique (température, pression) ou dynamique (vibrations).

Ces composants sont conçus puis testés en laboratoires par leur constructeur. Une fois placés dans leur véritable environnement industriel, ils peuvent cependant manifester un comportement différent de celui prévu à la conception pour diverses raisons : phénomènes physiques locaux imprévus, hypothèses de conception peu réalistes, conditions de montage mal connues, modes de fonctionnement dégradés.

A la période précédente, le début des années 1980, correspondant au démarrage de nombreuses centrales nucléaires, avec de multiples essais de recette, a succédé la période actuelle caractérisée par des expertises liées au retour d'expérience des tranches en exploitation et au démarrage de nouvelles filières dans le domaine nucléaire (palier 1450 MW) et dans le domaine du thermique à flamme (fuel et charbon).

Aussi bien pour réaliser une recette de matériel que pour porter un diagnostic sur un composant sollicité mécaniquement, la phase expérimentale est un point de passage indispensable. En effet, l'état actuel des connaissances scientifiques ne permet pas toujours d'expliquer ou de prédire certains types de phénomènes et, lorsque c'est possible, les codes numériques nécessitent comme données d'entrée des conditions aux limites qu'il faut déterminer de manière précise. Pour fournir un diagnostic sur le comportement réel des installations, il est donc nécessaire de réaliser directement des expertises dans la centrale en fonctionnement.

2. LES DIFFERENTS TYPES D'ESSAIS MENES SUR SITE

L'activité expérimentale sur les sites de production revêt de multiples aspects et vise des objectifs différents. Schématiquement, on peut distinguer trois classes d'essais sur site :

- les essais de qualification et de réception :

Les essais de qualification sont réalisés au démarrage des centrales pour qualifier le bon fonctionnement des matériels. Ils ont pour objectif d'évaluer l'écart entre les performances réelles et les performances attendues d'un composant ou d'un système. Réalisés sur la tête de série des nouveaux paliers, les essais de réception ont pour objectif de caractériser les performances des systèmes et de valider les innovations technologiques apportées par les constructeurs.

- les essais d'investigation :

Ces essais permettent d'améliorer la connaissance de phénomènes thermohydrauliques ou mécaniques qui affectent les composants étudiés et d'en préciser les conditions d'apparition. Essentiellement liés au retour d'expérience du parc en exploitation, ils ont pour objectifs d'étudier des phénomènes non prévus à la conception des tranches, d'extrapoler les connaissances à des paliers de puissance plus importante et d'étudier de nouvelles filières. Menés en régime normal d'exploitation ou dans une configuration spécifique de fonctionnement, ils permettent d'identifier les configurations matérielles ou fonctionnelles critiques et de valider d'éventuelles actions correctives.

- les essais de surveillance :

Ces essais ont pour objectif d'analyser l'évolution dans le temps du comportement d'un matériel en régime normal d'exploitation et de fournir des indicateurs pour déclencher d'éventuelles actions de maintenance.

3. LES CONTRAINTES PROPRES AUX ESSAIS SUR SITE

L'activité d'essais en centrale doit respecter trois grandes exigences : la sûreté de fonctionnement du réacteur, la disponibilité de la centrale en exploitation et un ensemble d'impératifs réglementaires relatifs à la Qualité.

■ La sûreté du réacteur

L'instrumentation mise en oeuvre dans les centrales ne doit pas remettre en cause l'intégrité des composants nucléaires. Il appartient à l'exploitant de la centrale d'en apporter la preuve par des dossiers soumis à l'exploitant de la centrale d'une part, aux Autorités de Sûreté d'autre part. Ces dossiers doivent mentionner et justifier les modes opératoires utilisés dès que l'instrumentation interagit avec centrale (connexion aux signaux d'exploitation, soudage ou perçage des composants pour fixer les capteurs). Pour cette raison, les instrumentations doivent être essentiellement de nature non intrusive.

■ La disponibilité de la centrale

La disponibilité de la centrale ne doit évidemment pas être remise en cause par une indisponibilité du système d'essai. Cependant, si le calculateur d'essai se trouve généralement dans un local accessible, l'instrumentation et les baies d'acquisition se situent très souvent dans le bâtiment réacteur dont l'accès est interdit en fonctionnement pendant le cycle complet du combustible, soit pendant un peu plus d'une année. La fiabilité de l'ensemble du système d'essai, et de la liaison calculateur-système d'acquisition en particulier, doit donc être complète pendant cette période.

Par ailleurs, les essais doivent s'intégrer dans le planning d'exploitation de la centrale, qui est très évolutif. Ceci suppose une disponibilité permanente du système d'essai associée à une grande réactivité de l'équipe d'essai.

■ La Qualité des prestations

Une part croissante d'expertise concerne des matériels nucléaires dits à Qualité Surveillée, c'est à dire classés importants pour la sûreté et la disponibilité des tranches. De ce fait, la réglementation en vigueur (arrêté du 10/08/1984 relatif aux installations nucléaires de base) impose la mise en place d'une organisation Qualité pour les activités d'essai. Les prescriptions d'Assurance Qualité portent sur le cycle complet de l'essai, depuis la chaîne de mesure jusqu'aux outils d'expertise, en passant par la gestion et l'organisation de l'essai dans un environnement réglementaire complexe faisant intervenir de nombreux interlocuteurs.

4. LES SYSTEMES D'ESSAI

4.1 La chaîne de mesure

La Direction des Etudes et Recherches d'EDF développe et met en oeuvre des techniques de mesure pour les besoins d'essais, de conduite ou de surveillance des unités de production. Les efforts de développement portent principalement dans les trois directions suivantes.

■ La Qualité des mesures

Les essais en centrales sont réalisés le plus souvent possible avec des chaînes de mesure constituées des capteurs d'essai industriels (thermocouples, jauges de déformation, accéléromètres, capteurs de pression...) intégrés dans une architecture standardisée d'acquisition/traitement. Cette intégration s'appuie sur des techniques de la qualité visant à vérifier la conformité effective des moyens de mesure par rapport aux caractéristiques métrologiques et fonctionnelles spécifiées lors de la définition de l'essai.

Une première phase de vérification consiste à garantir le niveau de qualité des informations mesurées par un étalonnage des capteurs et transmetteurs selon des procédures standardisées et une organisation qualité formalisée : cet étalonnage est réalisé dans des Bancs Locaux d'Etalonnages (BLÉs) de la Chaîne de Métrologie Interne (CMI), structure placée sous le contrôle métrologique de laboratoires d'EDF accrédités par le COFRAC (Comité Français d'Accréditation). A titre d'exemple, cette CMI a permis depuis 1989 l'étalonnage de plus de 25000 capteurs d'essai en pression, température et vibrations.

L'étalonnage en laboratoire est complété par une seconde phase de vérification sur site, selon un ensemble de procédures permettant de contrôler la qualité globale de chaque voie de mesure, du capteur jusqu'à la restitution de la grandeur physique recherchée.

■ L'apport des méthodes non intrusives de mesure

Les méthodes de mesure non intrusives (optiques, ultrasonores ou radioactives) sont de plus en plus employées sur les tranches en service. Ces techniques offrent l'avantage de fournir des mesures locales, dynamiques et peu perturbatrices qui permettent d'établir des cartographies de grandeurs physiques (vitesses, températures, concentrations d'espèces chimiques, densités...). Recherchées pour leur facilité de mise en oeuvre a posteriori sur les tranches en service, elles sont à la base d'outils de surveillance des composants ou de tests des circuits.

A titre d'illustration, les méthodes optiques sont utilisées pour obtenir le champ de monoxyde d'azote dans une flamme turbulente ou pour déterminer les caractéristiques de l'arc de coupure dans un disjoncteur dans des conditions extrêmes (vitesses de 2000 m/s, températures de 10 000 K et phénomène chaotique très rapide). Les méthodes ultrasonores sont utilisées en continu pour la mesure directe du débit dans le circuit primaire d'un réacteur nucléaire et pour la mesure non-intrusive de température dans les tuyauteries. Enfin, les méthodes radioactives sont également utilisées en débitmétrie et pour mesurer des taux de vide dans des écoulements diphasiques.

■ *Les technologies émergentes*

Les technologies émergentes des capteurs à fibres optiques et des capteurs intelligents sont susceptibles d'application dans les unités de production d'électricité.

Les capteurs à fibres optiques (CFO) s'adaptent à deux "niches" propres à EDF. Il s'agit de la surveillance des grandes structures de génie civil (barrages, aéroréfrigérants et enceintes de confinement des réacteurs nucléaires), dans lesquelles peuvent être inclus, dès la construction, des CFO en réseau, permettant de disposer de mesures réparties de surveillance des déformations. Il s'agit également des mesures dans l'environnement des grandes machines électriques (alternateurs, transformateurs,...) dans lesquelles l'immunité des fibres optiques aux champs électromagnétiques et l'isolation galvanique associée sont des avantages uniques et décisifs.

L'utilisation des capteurs intelligents en essais en centrale fait d'ores et déjà l'objet d'une expérimentation sur réseau de terrain numérique de type FIP. Il est ainsi possible de retirer des gains en précision très sensibles, et une plus grande qualité des mesures grâce à la technologie de communication numérique moins sensible qu'une transmission analogique aux perturbations induites par l'environnement industriel.

4.2 La plate-forme d'acquisition et de traitement des mesures

L'expérience acquise dans le domaine des essais sur site depuis le début des années 1980 a permis de rassembler tous les développements dans une même structure d'accueil : SAPEC (Station d'Accueil Pour les Essais en Centrale). Cet ensemble informatique est constitué de matériels de mesure, d'un ordinateur et d'un logiciel d'essais. Il doit permettre la préparation, la réalisation, le dépouillement et l'archivage de la quasi-totalité des essais mis en oeuvre sur une tranche nucléaire, avec un niveau de qualité et de traçabilité garanti.

■ Le noyau d'acquisition : PATERN

Le module d'acquisition des données de SAPEC est réalisé autour de PATERN (Poste d'Acquisition Traitement et Restitution Normalisé), progiciel d'acquisition et de traitement de mesures à usage général. Développé initialement à EDF, puis industrialisé par SLIGOS, il permet de configurer complètement la chaîne de mesure (depuis les capteurs jusqu'à la restitution des résultats), de réaliser l'acquisition et de stocker les mesures. Il s'appuie sur une base de matériels constituant la chaîne de mesure. Cette base de matériels est multi-constructeurs et respecte, pour la partie informatique, les standards du marché.

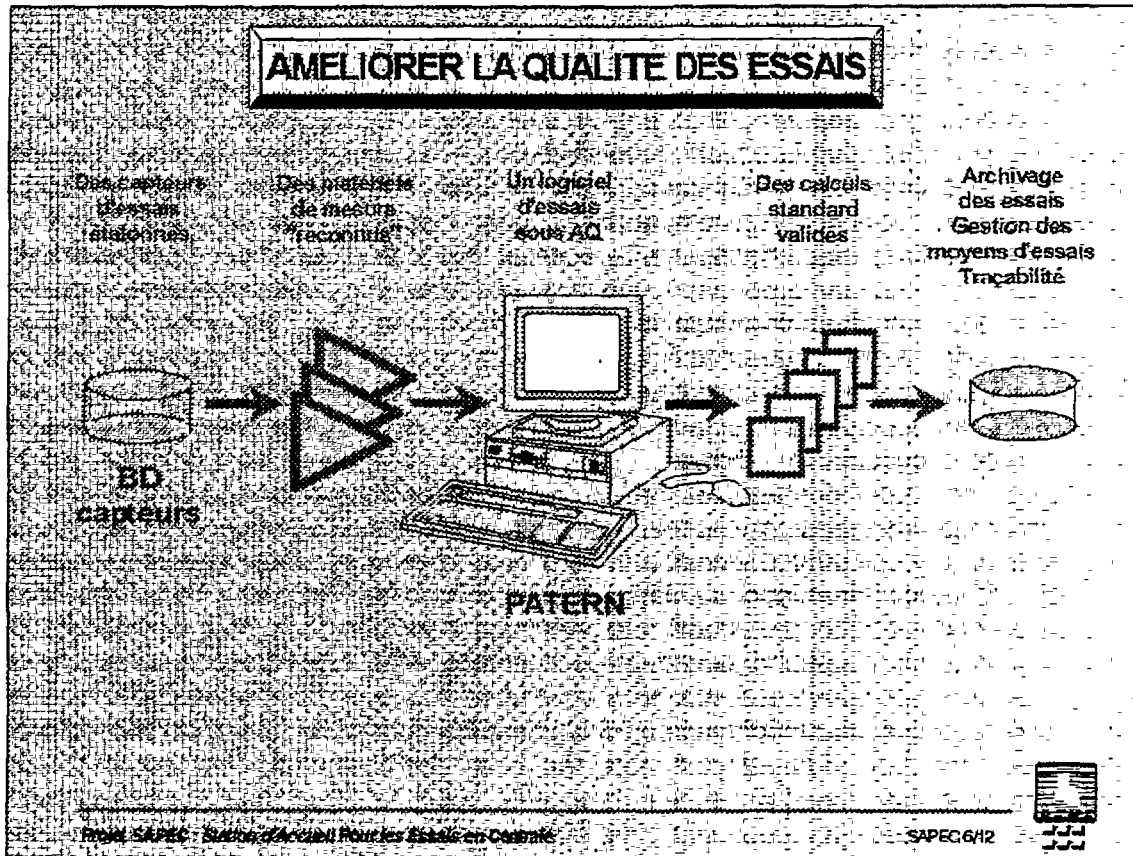


Figure 1. PATERN : l'acquisition et le stockage des mesures

PATERN est développé et maintenu selon des procédures d'Assurance Qualité. Ses procédures de test et de contrôle internes ainsi que sa bibliothèque de calculs standards (principalement thermohydrauliques et mécaniques) garantissent la crédibilité des multiples essais réalisés par différentes équipes sur la cinquantaine de réacteurs en exploitation.

■ La version actuelle de SAPEC

La figure 2 décrit l'architecture logicielle de SAPEC 1.0

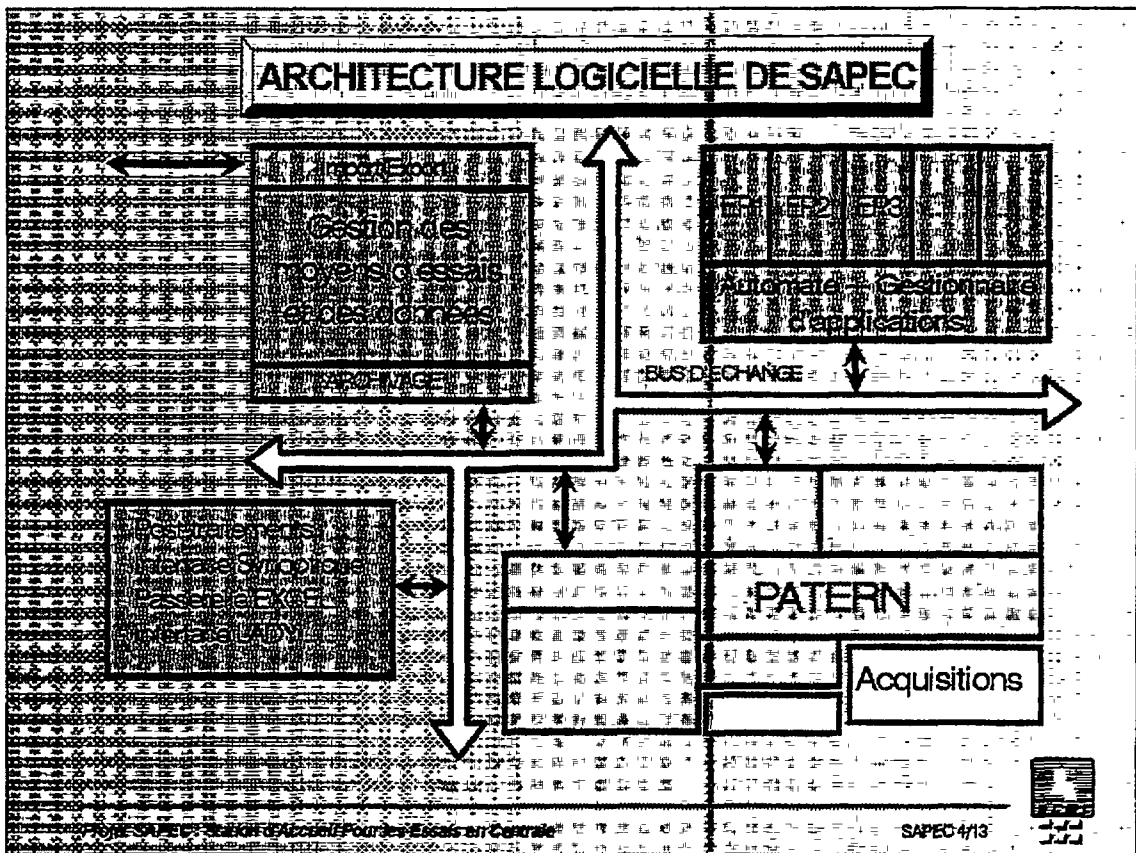


Figure 2. Architecture logicielle de SAPEC

L'architecture logicielle de SAPEC est constituée de trois grandes classes fonctionnelles :

- le noyau d'acquisition PATERN,
- les progiciels externes interfacés avec PATERN,
- les applications d'essais (contrôle économique des tranches, bilan thermique de la chaudière) qui utilisent les ressources de PATERN.

Des développements sont en cours pour insérer un gestionnaire d'application afin d'améliorer la formalisation des essais réalisés périodiquement sur les centrales. Ce gestionnaire proposera une liste de procédures d'essais types et guidera l'utilisateur à travers la préparation de son essai, sa mise en oeuvre et son dépouillement.

La figure 3 présente l'architecture matérielle de SAPEC 1.0

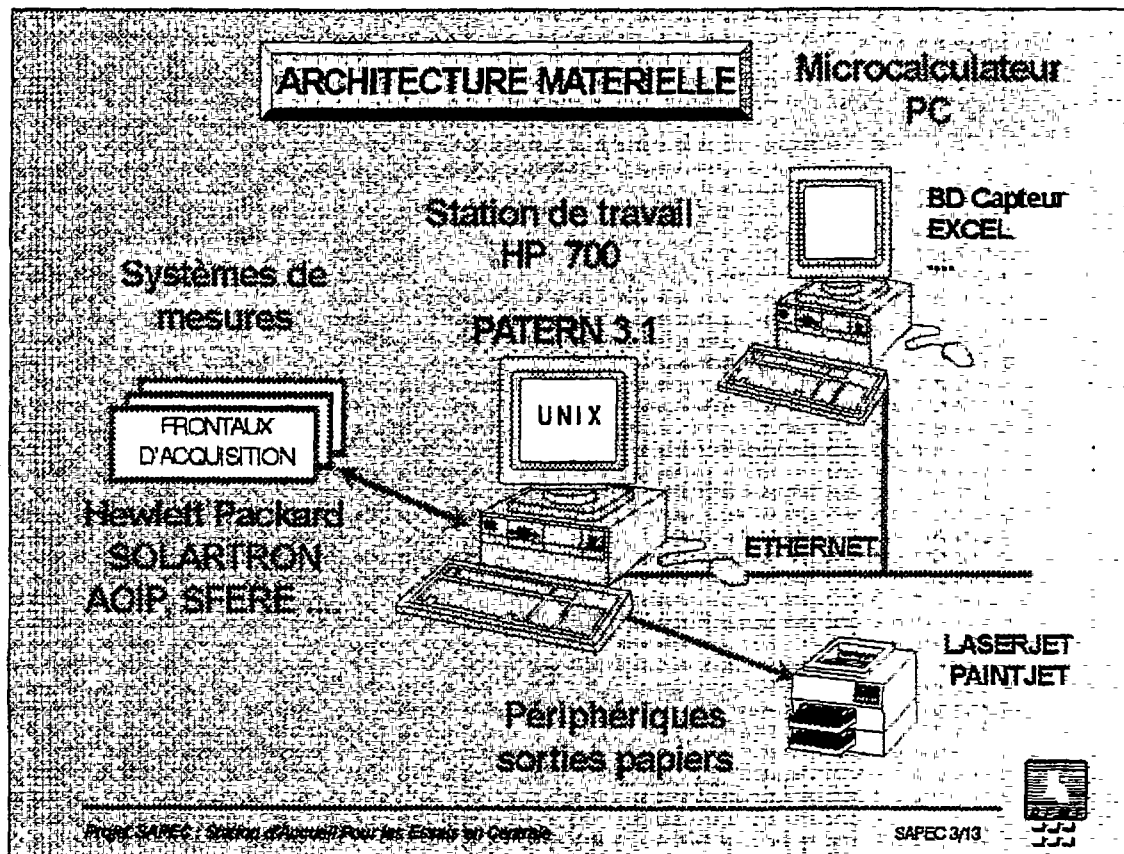


Figure 3. Architecture matérielle de SAPEC 1.0

Le calculateur de SAPEC est en fait constitué de deux machines : une station de travail sous UNIX sur laquelle fonctionne PATTERN et l'ensemble des fonctions connexes ; un PC sous MS DOS avec une base de données de capteurs disponibles sous EXCEL. Le PC permet également d'émuler un terminal X pour offrir ainsi un poste PATTERN supplémentaire à l'utilisateur.

Les frontaux d'acquisition supportés par le logiciel PATTERN sont des matériels disponibles sur le marché qui ont fait preuve de leurs qualités métrologiques en environnement industriel.

5. UN EXEMPLE : LES ESSAIS DE RECEPTION DES GENERATEURS DE VAPEUR DU NOUVEAU PALIER NUCLEAIRE 1450 MW

5.1 Objectif et organisation générale des essais

Classiquement l'essai de réception d'un Générateur de Vapeur (G.V.) a pour objectif de déterminer les principales caractéristiques thermiques du GV pour différents régimes de fonctionnement stationnaires. Pour des composants d'une conception nouvelle, ils visent à vérifier que la vapeur est fournie selon les conditions de qualité (selon un taux d'humidité résiduelle requis) et de pression attendues pour des conditions de fonctionnement du réacteur bien précises.

Les essais se caractérisent par une campagne expérimentale importante comprenant un grand nombre de mesures (externes et internes au GV) interprétées ensuite à l'aide d'un code thermohydraulique. Ils nécessitent pour cela la réalisation de mesures spécifiques des débit et températures (mesure de la température par ultrasons et mesure du débit primaire par méthode radioactive) dans le circuit primaire par des méthodes plus performantes que les méthodes usuelles.

La figure 4 illustre la démarche qui est suivie lors des essais de réception.

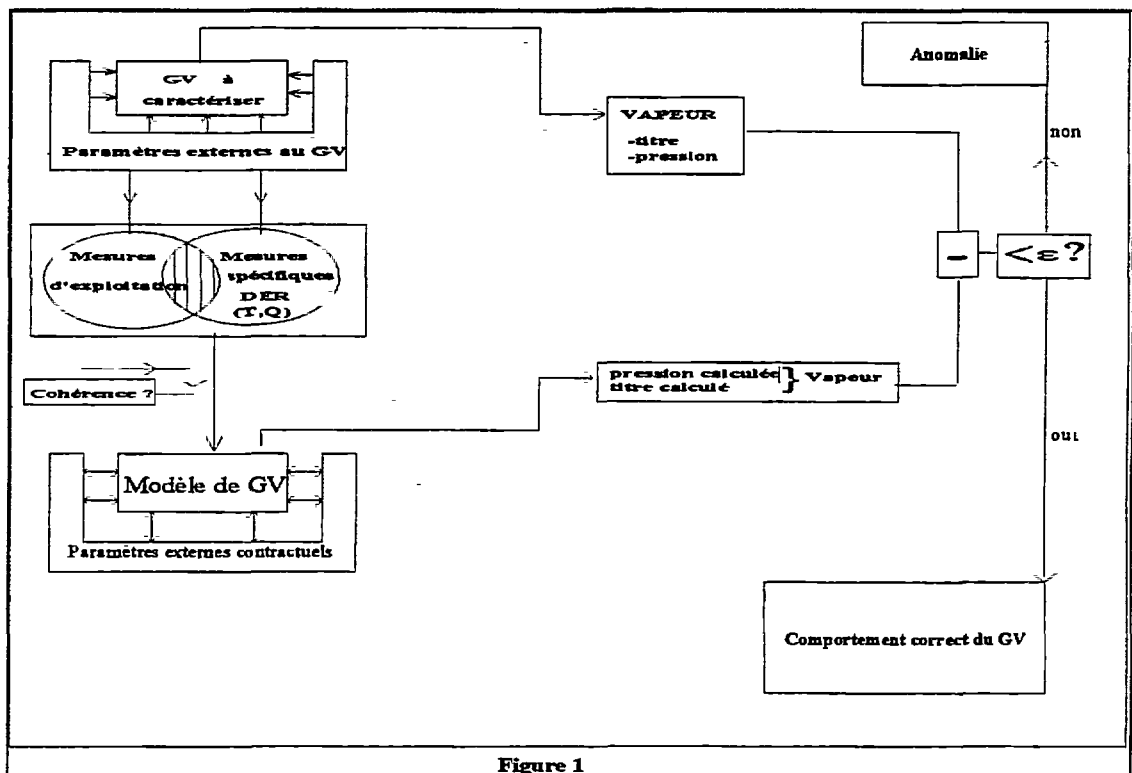


Figure 4. Organisation des essais de réception des Générateurs de Vapeur.

5.2 Utilisation de chaînes de mesure non standard

La pression de la vapeur à la sortie du Générateur de Vapeur est un paramètre important pour qualifier la recette de ce composant. Pour relier ce paramètre à des états de fonctionnement précis du réacteur, il est nécessaire d'étudier la cohérence entre la mesure de la pression de vapeur en sortie de GV et la mesure de la température et du débit dans le circuit primaire du réacteur. A titre d'exemple, une diminution de 1°C de la température primaire se traduit par une perte de pression d'environ 1 bar et une diminution du rendement global de l'installation. Ces mesures sont disponibles par des capteurs d'exploitation de la tranche, mais avec une relative imprécision. Pour réaliser un calcul précis, il est nécessaire d'instrumenter le circuit primaire par des mesures spécifiques de débit et de température.

■ La mesure de débit par traceur radioactif

Le principe de cette mesure est le suivant. A la sortie du coeur du réacteur, l'azote 16, isotope radioactif "naturellement" présent dans le réacteur, est véhiculé par le fluide qui parcourt le circuit primaire. L'étude de ses fluctuations temporelles permet de déterminer le temps de transit du fluide, donc le débit. Cette mesure est directe et ne dépend pas de mesures complémentaires. En revanche, ce mode de mesure impose un dispositif instrumental d'un poids élevé, et donc des contraintes de supportage, et requiert une détermination précise du volume délimité par les deux chambres d'ionisation.

■ La mesure de température par ultra-sons

On mesure le temps de trajet d'une onde ultrasonore se propageant au travers de la paroi de la conduite primaire et du fluide qu'elle contient. Cette mesure permet la détermination d'une température moyenne du fluide à partir de la relation liant la célérité du son dans l'eau et sa température. Le trajet acoustique est matérialisé par l'alignement de deux capteurs placés de part et d'autre de la conduite. Les difficultés liées à cette mesure résident essentiellement dans des contraintes d'ordre matériel (soudage de guides d'ondes sur la conduite primaire, respect précis de leur alignement, exigüité des locaux).

5 3. Instrumentation retenue.

La figure 5 illustre l'instrumentation retenue.

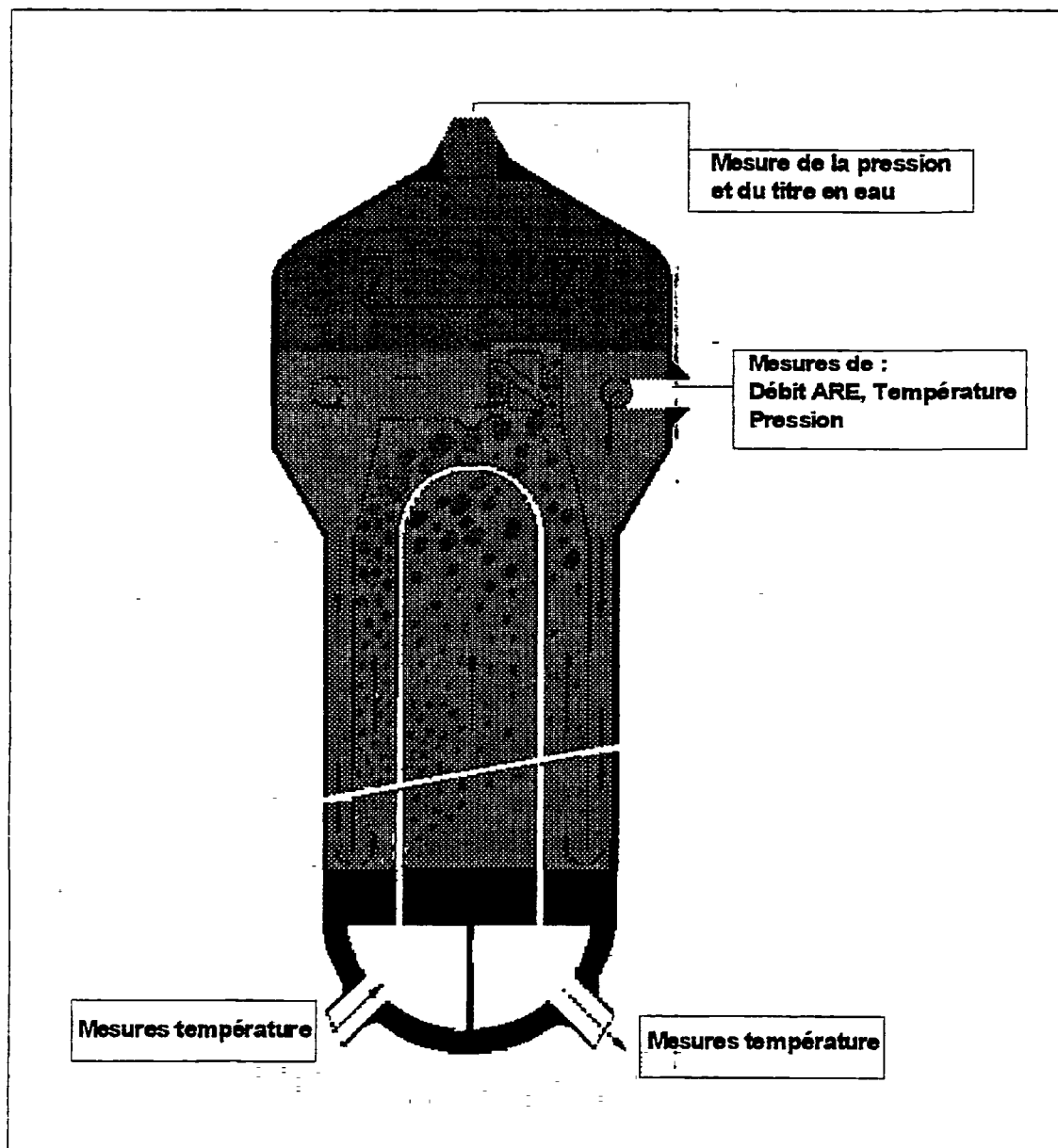


Figure 5. Coupe d'un générateur de vapeur et instrumentation retenue pour les essais de réception.

Elle se décompose de la manière suivante.

■ Mesures coté secondaire (dans le générateur de vapeur) :

- une mesure du taux de primage (titre en eau),
- trois mesures de pression de vapeur en sortie de générateur,
- trois mesures de pression différentielle, trois mesures de température, une mesure de pression pour la détermination des débits d'eau d'alimentation à l'entrée du générateur,
- une mesure du niveau d'eau dans le générateur,
- une mesure de débit de purge du générateur.

■ Mesures coté primaire (entre le réacteur et le générateur de vapeur) :

- deux mesures de pression,
- six mesures de températures par thermocouples,
- deux mesures de température par ultrasons,
- une mesure du débit par méthode radioactive,
- des mesures de température du coeur provenant de mesures d'exploitation,
- une mesure de la puissance nucléaire engendrée par le réacteur.

5.4 Utilisation du poste d'essai

Ce genre d'essai utilise une grande disparité des chaînes de mesure, des systèmes d'acquisition et des liaisons numériques. Pour y remédier, le système d'acquisition et de traitement est SAPEC, présenté au paragraphe 4. L'essai de réception, prévu en début de cycle, ne dure en temps cumulé que quelques dizaines d'heures. Une grande partie de l'instrumentation est située dans le bâtiment réacteur qui n'est pas accessible pendant le fonctionnement normal de la tranche. L'instrumentation doit donc être pilotée à distance (une centaine de mètres avec plusieurs barrières physiques) et offrir une fiabilité complète pendant un cycle complet d'exploitation, soit un peu plus d'un an.

Les mesures nécessaires à l'exploitation de la tranche qui sont utilisées pour l'essai sont saisies par le système d'acquisition de la centrale et transférées dans le poste d'essai par une liaison de type Ethernet.

Le nombre élevé des mesures de température dans le coeur du réacteur ne permet pas de les acquérir par l'intermédiaire du scanner de la centrale. Ces mesures sont acquises à partir de boîtiers de mesure IMP reliés à PATERN par l'intermédiaire d'un câble S-Net et d'un adaptateur IMP/liaison HPIB.

L'acquisition des mesures spécifiques radiocatives et ultra-sonores s'effectue grâce à deux PC agissant comme des scanners hybrides. L'envoi des données vers le calculateur se fait sous la forme de fichiers datés.

Globalement l'architecture retenue est illustrée par la figure 6 suivante:

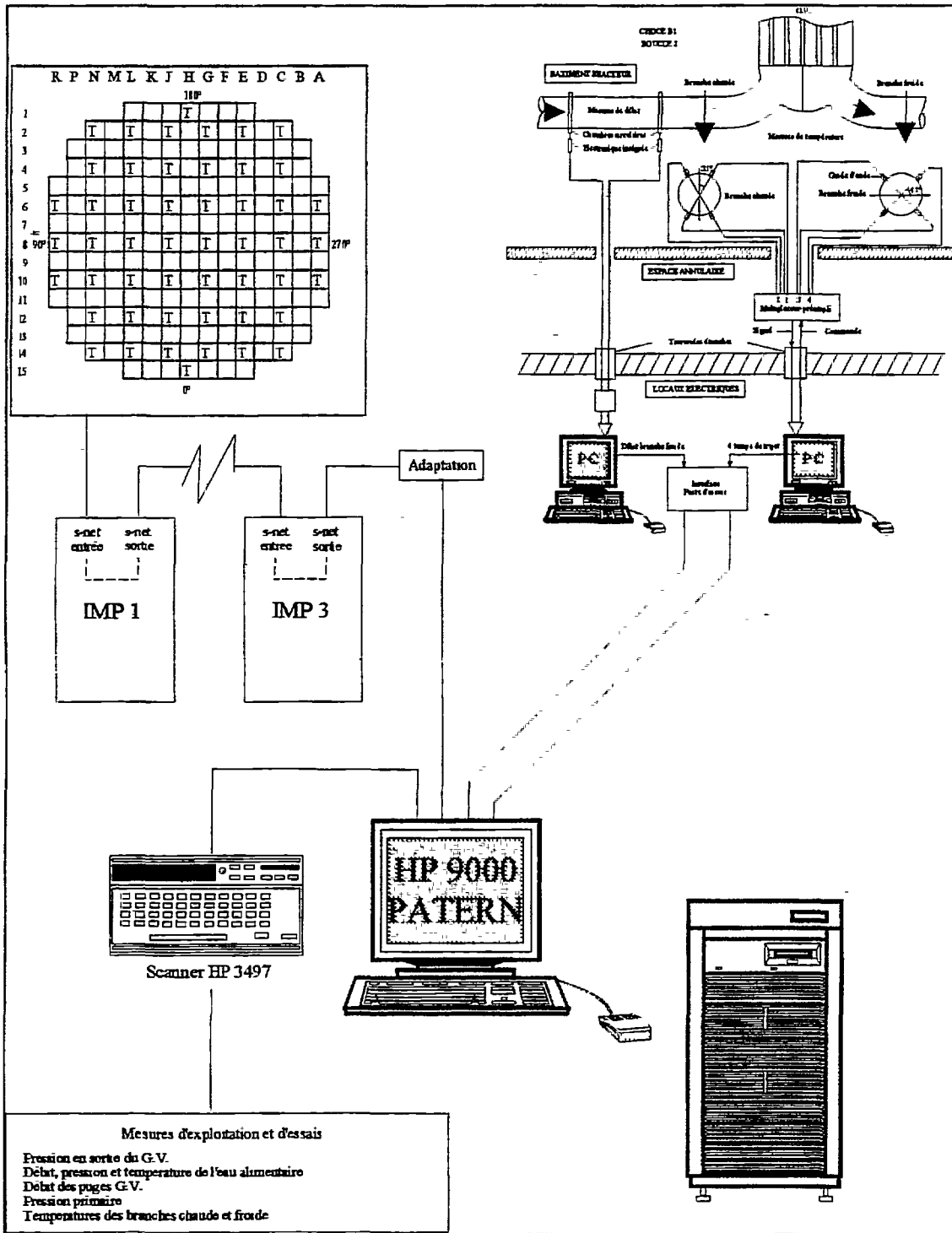


Figure 6 - Schéma d'ensemble du poste d'essai pour les essais de réception.

6. CONCLUSION

L'activité d'essai sur les sites de production d'électricité s'inscrit dans un environnement d'exploitation sur lequel s'exerce des contraintes réglementaires fortes. Les essais, particulièrement les essais d'investigation, correspondent à des investissements lourds et engendrent un volume de données important dont il faut assurer la pérennité sur une période longue, parfois égale à la durée de vie de la centrale (40 ans).

L'utilisation d'outils standardisés et développés sous Assurance Qualité contribue à garantir à la fois la validité des données saisies à l'occasion d'essais spécifiques et l'homogénéité des procédures expérimentales mises en oeuvre de manière systématique sur la cinquantaine de réacteurs en exploitation. Cette standardisation, effective au niveau du matériel, est en cours au niveau des méthodes d'essai.

Plus généralement, on note qu'une distinction plus forte que par le passé apparaît entre la phase de spécification de l'essai et la phase de réalisation proprement dite. L'effort de R&D porte en majeure partie sur la phase de spécification, tandis que la phase de réalisation revêt un caractère plus industriel. Enfin, le recours massif et banalisé à la modélisation pour exploiter les résultats contribue à la plus value apportée en matière d'essai, qui porte désormais sur la capacité de coupler l'approche expérimentale avec l'approche numérique pour réaliser une expertise globale.

EDF

*Direction des Etudes
et Recherches*

*Electricité
de France*

*Service Information
Prospective et Normalisation*

CLAMART Le 21/10/97

*Département Systèmes d'information
et de documentation*

*Groupe Exploitation
de la Documentation Automatisée*

1. avenue du Gal de Gaulle
92141 CLAMART Cedex
tel 47 65 56 33

MME AUBRY JACQUELINE
CEA - CE SACLAY
DIST/SCIBD
ORNE DES MERISIERS

91191 GIF SUR YVETTE CEDEX

a l'attention de

MEMOIRE TECHNIQUE ELECTRONIQUE

Cette feuille est détachable grâce à la microperforation sur le côté droit.

Reference de la demande **F635540**
Origine : **CATALOGUE DES NOTES DER**

Votre commande **DIST/SCBD/97/020**

Numéro du document : **96NB00007**

Titre : **L'ACTIVITE D'ESSAIS SUR LES SITES DE PRODUCTION NUCLEAIRE D'ELEC
TRICITE**

Auteurs : **MORILHAT P./FAVENNEC J.M./NEAU P./PREUDHOMME E.**

Source : **COLL. NOTES INTERNES DER. PRODUCTION D'ENERGIE (HYDRAULIQUE, THE**
Serial .

Reference du document **SANS**

Nombre de pages- **0018**

Nombre d'exemplaires **001**

Support - **P**



DIRECTION DES ÉTUDES ET RECHERCHES

1, AVENUE DU GÉNÉRAL DE GAULLE - BP 408 - 92141 CLAMART CEDEX FRANCE - TEL. 33 1 47 65 58 11 - FAX 33 1 47 65 49 27 - e.mail elisa.nuc @ der.edfgrd.fr