

## LA TOPOMÉTRIE DANS LES REMPLACEMENTS DE GÉNÉRATEURS DE VAPEUR DANS LES CENTRALES NUCLÉAIRES À EAU PRESSURISÉE

Alain Martin - Société Framatome  
Serge Lachaise et Max Courtois - Société I. M. S.

En 1990, EDF a fait procéder sur la tranche 1 de la Centrale Nucléaire de Dampierre en Burly (45) au remplacement de 3 générateurs de vapeur. Framatome, à qui l'opération était confiée, a fait appel à la société Industrie Mesures Services pour réaliser les prestations de mesures Topométriques.

La maîtrise de la topométrie a permis d'effectuer l'opération sans rechargement de soudure ni remplacement des coudes des tuyauteries primaires, ce qui constituait une première mondiale. Elle a eu pour autres conséquences d'apporter une réduction sensible du planning par rapport aux méthodes de remplacement plus classiques, ainsi qu'une diminution significative des doses reçues par le personnel.

La Topométrie a donné toute satisfaction puisque l'opération a pu être réalisée en un temps record, tout en garantissant parfaitement les tolérances d'accostage nécessaires à la soudure des nouveaux Générateurs de Vapeur.

### I - LE CONTEXTE NUCLÉAIRE

Le circuit primaire d'une centrale nucléaire à eau pressurisée est composé de 3 éléments principaux :

- la cuve où se produit la réaction nucléaire,
- les générateurs de vapeur qui vaporisent l'eau du circuit secondaire à l'aide de la chaleur du circuit primaire (vapeur qui fera tourner les turbines de la salle des machines),
- les groupes moto-pompes primaires qui assurent la circulation de l'eau entre la cuve et les générateurs de vapeur.

Suivant le type de centrale, la cuve est entourée de 3 ou 4 boucles identiques, chaque boucle étant constituée d'un générateur de vapeur et d'un groupe moto-pompe ; l'ensemble est relié à la cuve par des tuyauteries primaires (figure 1).

Le composant à remplacer dans cette opération est le générateur de vapeur.

Le schéma de la figure 2 montre l'implantation de ce composant (20 mètres de haut, 4 mètres de

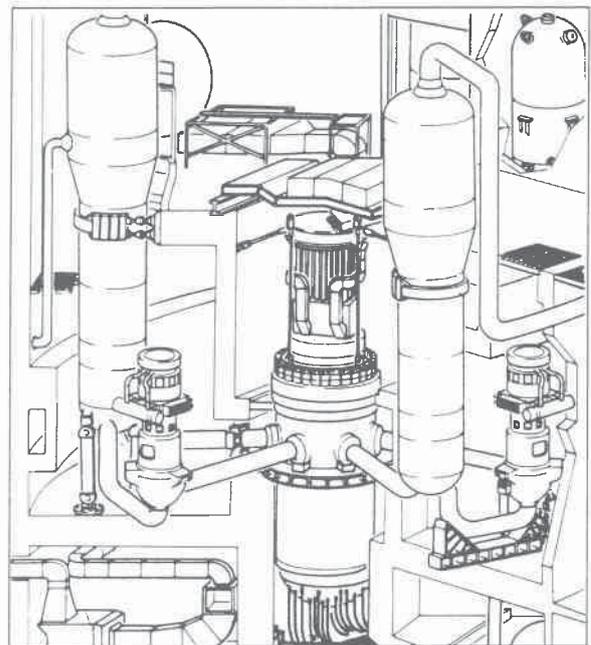


Fig. 1 Boucle primaire d'un réacteur à eau pressurisée.

diamètre et 330 tonnes) dans le génie civil. Le générateur de vapeur repose verticalement sur des béquilles, et des butées horizontales à deux niveaux limitent tout mouvement en cas d'accident.

### Pourquoi remplacer les Générateurs de Vapeur (GV) ?

Le générateur de Vapeur est un composant soumis à de très fortes sollicitations, liées aux écarts de températures lors des différentes phases de conduite de la centrale.

C'est la barrière entre le fluide primaire, confiné dans le bâtiment réacteur de la centrale (partie nucléaire de l'installation), et l'eau du secondaire, qui se vaporise au contact des tubes du générateur de vapeur et va alimenter les turbines de la salle des machines (partie plus classique de production électrique).

Les fuites entre le circuit primaire et le circuit secondaire sont très sévèrement contrôlées, pour éviter la contamination du secondaire.

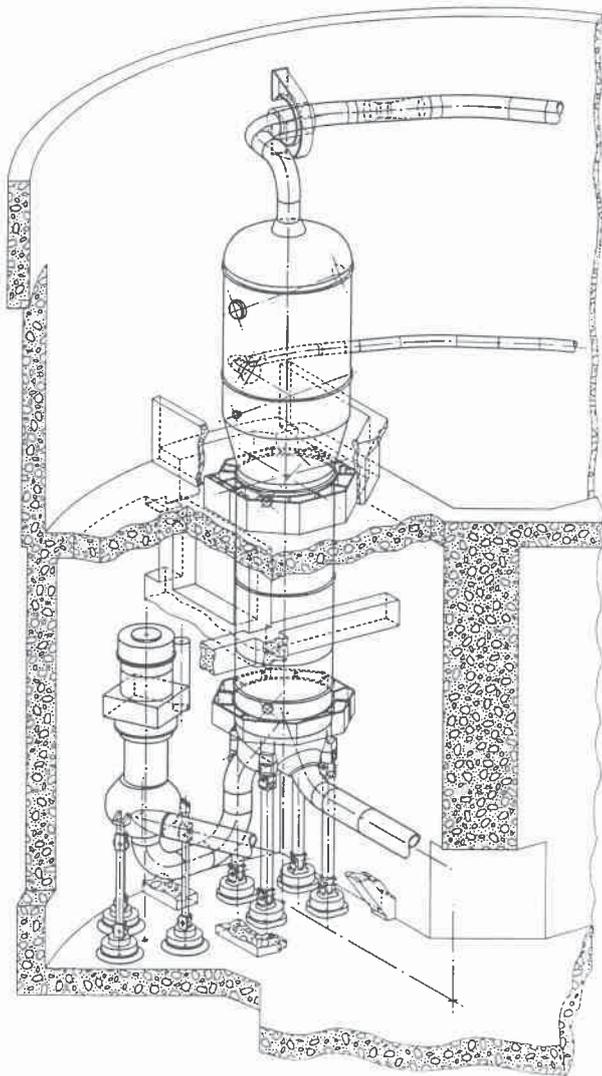


Schéma 2. Le GV et ses supportages.

Or le vieillissement du générateur de vapeur provoque de la corrosion et de la fissuration au niveau des tubes, ce qui peut occasionner des fuites entre le circuit primaire et le circuit secondaire. Pour arrêter ces fuites, on procède classiquement au bouchage des tubes fuitards (opération limitée à 15 % des tubes). Mais le coût engendré par le suivi des phénomènes de corro-

sion augmente conjointement avec le vieillissement du générateur de vapeur.

Ainsi, c'est pour des raisons économiques, plus que techniques, qu'Electricité de France a décidé de procéder au remplacement des 3 Générateurs de Vapeur de la tranche 1 de la centrale de Dampierre.

## Montage d'origine

Lors du montage initial, les différents composants (cuve, GV, pompe) sont installés à leurs positions théoriques et raccordés par les tuyauteries primaires. Lors du soudage, il se produit un retrait de soudure important. Ce fait, ajouté aux tolérances dimensionnelles de fabrication des composants, amène à construire, à la demande, la tuyauterie qui relie le GV à la pompe (branche en U). Les supports (butées horizontales) sont ensuite ajustés en fonction des positions des composants obtenues.

## Montage lors du Remplacement de Générateur de Vapeur (RGV)

En montage RGV, la cuve, la pompe et les tuyauteries primaires sont en place ainsi que les supportages du GV fixés dans le génie civil.

La méthode classique, dite avec remplacement des coudes, consistait à enlever les 2 coudes des extrémités des tuyauteries primaires côté GV, à remettre en place le GV de remplacement au milieu de ses calages et à usiner à la demande les 2 coudes : cette méthode est longue (4 soudures par boucle) et onéreuse (2 coudes neufs par boucle). Une autre méthode consistait à laisser les coudes en place et à rajouter de la matière sur les coudes en les rechargeant localement par soudure : cette méthode induit un travail important en soudage et en usinage, avec une dosimétrie importante liée au travail sur les coudes. Lorsqu'EDF a demandé de réaliser un RGV sur l'une de ses tranches, FRAMATOME a proposé une solution sans remplacement de coude (2 soudures économisées par boucle) avec la topométrie comme moyen de métrologie.

### Les partenaires

**Framatome** - constructeur de Centrales Nucléaires de type à eau pressurisée et prestataire de services en maintenance spécialisée pour répondre aux besoins des exploitants français et étrangers - opérateur principal lors des opérations de remplacement de Générateur de Vapeur.

**Industrie Mesures Services** (Tours) dont la vocation est de fournir aux entreprises des prestations de services dans le domaine de la mesure tri-dimensionnelle sur des ensembles mécaniques complexes, de grandes dimensions ou indéplaçables.

Pour réaliser ce type de montage, il fallait connaître exactement les cotes du GV de remplacement, les positions des tuyauteries après coupe ainsi que les positions des supportages, car chaque boucle et chaque GV ont une géométrie qui leur est propre (tolérances de fabrication des composants et des tuyauteries).

Le choix s'est porté sur la topométrie, car celle-ci permettait d'atteindre les précisions requises, en effectuant les mesures en temps réel sur site, avec notamment des opérations d'auto-contrôle et des réglages d'outillages.

Le développement des méthodes topométriques appliquées au RGV a été conduit conjointement par FRAMATOME et I. M. S. sur une période de 3 ans pour aboutir en 1990 à l'opération de Dampierre 1.

Les étapes de développement ont été les suivantes :

- essais pour vérifier que la précision requise pouvait être atteinte,
- simulations par calcul pour vérifier le logiciel d'association, développé par FRAMATOME et IMS,
- essais sur maquettes en grandeur nature,
- qualifications des modes opératoires.

Ces essais et qualifications avaient pour but de démontrer que les moyens mis en œuvre permettaient d'atteindre les objectifs fixés avec toutes les garanties de fiabilité requises. Ils ont été effectués en assurance qualité sous la surveillance des services qualité de FRAMATOME et EDF.

## II - LA TOPOMÉTRIE

Une analyse du problème a conduit à s'interroger sur tous les réglages possibles qui permettront d'installer un nouveau GV à la place de l'ancien :

- réglage de positionnement du GV dans la casemate,
- ajustement de la position des tuyauteries,
- usinage des chanfreins de soudure,
- calage horizontal et vertical du nouveau GV.

Pour optimiser au mieux ces réglages et minimiser le temps de l'opération sur site (l'accostage est sur le chemin critique de l'opération), il est apparu indispensable d'anticiper un certain nombre de phases de mesure et d'ajustement. Deux grandes périodes se dégagent : la préparation qui comprend les topométries préliminaires dans le but d'apparier et d'adapter chaque GV neuf à une casemate, puis les topométries sur site pour ajuster la casemate au nouveau GV.

Les topométries préliminaires ont été répar-

ties sur une période de trois ans : enquête sur site et mesurage du GV. Les topométries sur site ont fait l'objet d'un travail en poste sur une durée de 6 semaines environ.

### Topométries préliminaires

#### 1° Mesurage des casemates

Son but :

Le but essentiel de la topométrie préliminaire est d'acquiescer toutes les données nécessaires pour connaître la géométrie de l'ancien GV :

- détermination d'un référentiel propre à la casemate et à l'ancien GV,
- position des supports horizontaux et verticaux,
- position des raccordements des tuyauteries sur le GV.

Moyens et technique de mesure :

Cette topométrie s'effectue en milieu hostile (principalement à cause de la radioactivité) : ceci impose une rapidité d'exécution, une légèreté des outillages et des procédures bien établies. Dampierre a été la première opération de ce type : des théodolites WILD T2 ont été utilisés. Par la suite, l'utilisation de théodolites T2002 a permis de réduire le temps de l'opération tout en garantissant une meilleure précision.

Les théodolites sont installés sur des consoles fixées aux murs de la casemate. Les relevés s'effectuent sur 3 niveaux avec 4 stations par niveau. Tous les points sont relevés simplement avec un théodolite et un décimètre. La précision du mesurage est estimée à  $\pm 1$  mm.

#### 2° Mesurage des générateurs de vapeur non finis

Son but :

Le but de ce mesurage est de connaître la géométrie exacte de tous ces composants. Les GV de remplacement ne sont pas encore finis, des surlongueurs ont été conservées sur les tubulures.

Moyens de mesure :

L'utilisation du système WILD 2000 associé à 2 théodolites T2000 permet d'assurer une précision de l'ordre de  $\pm 0,2$  mm, en tenant compte des trois couples de stations nécessaires pour saisir tous les points à mesurer. Les calculs sont réalisés en temps réel et permettent de vérifier à tout moment la qualité du mesurage. Les résultats du mesurage sont exprimés dans un référentiel lié au GV.

#### 3° Association GV - casemate

A ce stade, cette opération d'association des deux topométries précédentes permet :

- d'apparier les GV et les casemates - en effet, le calcul d'association est effectué entre tous les

GV disponibles et toutes les casemates du site concerné - le but étant d'optimiser les opérations d'adaptation,

- de définir la position des chanfreins à usiner sur les extrémités de tubulure du GV de remplacement.

#### 4° Mesurage des générateurs de vapeur finis

Après usinage des chanfreins, un mesurage final du GV de remplacement a lieu.

La phase suivante, réalisée sur le site de la centrale, se trouve sur le chemin critique de l'opération de Remplacement des Générateurs de Vapeur.

### Topométries finales

#### 1° Mesurage de la casemate

L'ancien GV a été retiré de sa casemate. Il est désormais possible de mesurer la casemate depuis 4 stations à un seul niveau.

Son but :

Mesurer la casemate avec une précision homogène à celle du mesurage du GV et permettre l'acquisition des données nouvelles : position des tuyauteries au niveau de la coupe, ainsi que les plans des supportages vertical et horizontal. Les points du canevas mis en place lors du mesurage préliminaire de la casemate servent à se recalculer dans un référentiel unique lié à l'ancien GV.

Moyens de mesurage :

Système WILD RMS 2000 associé à 2 théodolites WILD T2000 reliés par une liaison informatique et phonique à longue distance (150 m) à l'extérieur du bâtiment réacteur dans un bureau où se trouvent l'unité centrale et le personnel responsable de l'opération.

#### 2° 2ème association GV - casemate

Les données du GV sont définitives, les actions possibles sont désormais dans la casemate. Cette association servira à déterminer les déplacements des tuyauteries à l'intérieur des marges définies. L'outil de simulation est le même que lors de l'association des topométries préliminaires, seules les données sont différentes.

#### 3° Déplacement de tuyauterie primaire

Ces déplacements de tuyauterie primaire font l'objet d'un suivi topométrique en temps réel, les moyens de déplacement ne pouvant être

positionnés près du point d'accostage : ce suivi permet de contrôler que les mouvements réalisés sont proches de ceux calculés.

#### 4° 3ème association GV - casemate

Le même outil de simulation ayant servi aux précédentes associations est utilisé. Le résultat de ce calcul permettra de déterminer la position du chanfrein de soudure à réaliser sur les tuyauteries.

#### 5° Réglage des machines de chanfreinage

Un outil intermédiaire, appelé «anneau-repère», sert d'interface entre les résultats de calcul et la machine à chanfreiner : il est réglé par topométrie par approches successives pour être représentatif du futur chanfrein à réaliser. La machine de chanfreinage vient ensuite se régler sur cet anneau repère.

### III - ACCOSTAGE (MISE EN PLACE DU GÉNÉRATEUR DE VAPEUR)

Pour réaliser une soudure, l'accostage des tuyauteries sur le GV nécessite le respect des critères suivants (voir figure 3) :

- désaxage  $\leq 1,5$  mm,
- jeu moyen requis de 1,5 mm,
- défaut parallélisme + jeu : de 0 à 4 mm.

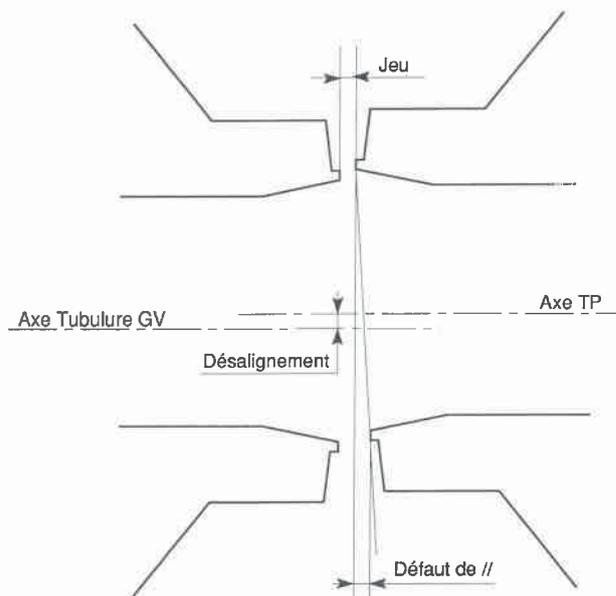


Fig. 3 Définition des critères d'accostage.

Les accostages de Dampierre ont donné les résultats suivants :

Boucle 1	Branche Chaude	Branche en U
Jeu moyen	1,05	1,15
Défaut de parallélisme	0	0,20
Désaxage	≤ 0,5	0,5 à 1,0
Boucle 2	Branche Chaude	Branche en U
Jeu moyen	1,75	1,35
Défaut de parallélisme	0,5	0,25
Désaxage	≤ 0,5	≤ 0,5
Boucle 3	Branche Chaude	Branche en U
Jeu moyen	1,10	1,35
Défaut de parallélisme	0,45	0,30
Désaxage	≤ 0,5	0,9

Il est important de noter que les défauts d'accostage constatés sont le cumul des erreurs suivantes :

- mesurage du générateur de vapeur,
- mesurage des tuyauteries,
- réglage des anneaux repères,
- usinage des chanfreins,
- mise en place du GV (330T et 20 m de haut).

#### IV - QUALITÉ

Toute cette opération a été réalisée sous Assurance Qualité. En particulier, la société IMS, prestataire de service pour FRAMATOME, a dû produire un manuel d'Assurance Qualité.

Pour garantir la qualité des prestations, des gammes opératoires ont été établies préalablement et vérifiées lors de qualifications en vraie grandeur.

L'utilisation du système RMS 2000 a contribué à garantir cette qualité par :

- la vérification en temps réel de la qualité du pointé,
- le contrôle des éléments mesurés par calcul,
- la mise en place de procédures automatiques de mesurage.

A chaque stade de l'opération, des critères inclus dans les gammes opératoires sont vérifiés et permettent de contrôler la qualité du mesurage.

#### V - CONCLUSION ET EVOLUTIONS

Dans cette opération de remplacement de GV, la topométrie a donné toute satisfaction compte-tenu des valeurs d'accostage obtenues. Cette réussite a conduit FRAMATOME à envisager la réalisation du soudage en automatique dès la première passe et en chanfrein étroit. L'enjeu pour FRAMATOME est un gain important en terme de temps de soudage et donc en durée de l'opération de remplacement de GV. Cette méthode n'avait pas été retenue jusqu'alors en raison des critères d'accostage particulièrement contraignants :

- désaxage ≤ 1,5 mm
- jeu requis : 0 mm
- cumul du défaut de parallélisme et du jeu : 0 à 0,7 mm

Les résultats de Dampierre 1 (voir §3) laissaient espérer le respect de tels critères, mais en analyse probabiliste, la certitude ne pouvait être de 100 %. Aussi la méthode a-t-elle été améliorée et une simulation en vraie grandeur réalisée sur le site de Golfech 2. Les résultats de l'accostage ont été les suivants, sur les 2 tuyauteries :

- désaxage : 0,3 mm
- défaut de parallélisme + jeu : 0,3 mm

Les performances réalisées en topométrie par IMS dans cette opération ont permis à FRAMATOME de développer une méthodologie de remplacement des GV qui la démarque de ses concurrents et fait figure de référence sur les marchés internationaux. C'est la conséquence directe d'un rapport de partenariat exemplaire.