

Large white text 'N4' overlaid on a dark background image of a nuclear power plant at night with smoke rising from a cooling tower.

CENTRALE NUCLÉAIRE DE CIVAUX

1450 MW

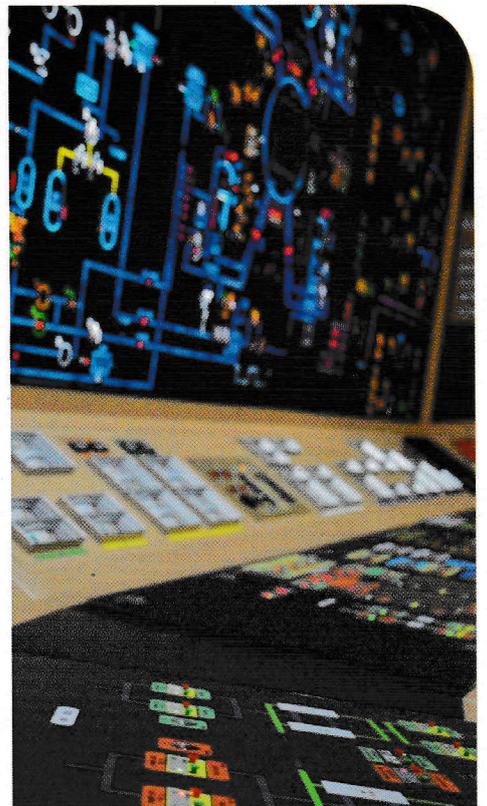
Le programme électro-nucléaire français a été lancé en 1970, puis accéléré en 1974 à la suite de la première crise du pétrole.

Aujourd'hui, 75 % de l'électricité est d'origine nucléaire. Elle assure à plus de 50 % l'indépendance énergétique de la France et ceci, malgré l'absence de ressources naturelles nationales.

L'expérience cumulée du parc nucléaire français est aujourd'hui de plus de 1000 années-réacteurs. Cela a permis d'améliorer la sûreté et les performances des centrales.

EDF a mis en service le palier N4, une série de centrales de 1450 MW de conception 100 % française. Ce palier technologique bénéficie de toute l'expérience acquise dans l'exploitation des paliers 900 et 1300 MW qui l'ont précédé.

Ce document met tout particulièrement l'accent sur la salle de commande informatisée et la nouvelle turbine «Arabelle».



- ① Écran d'alarmes
- ② Clavier de dialogue d'alarmes
- ③ Clavier de dialogue de commandes
- ④ Écran de commandé
- ⑤ Boule roulante
- ⑥ Écran sensitif de commande, de compte rendu, de gestion de poste

Le nouveau concept de la salle de commande informatisée, retenue par Électricité de France pour le palier N4, vise à l'amélioration de la sûreté et de l'efficacité de la conduite en toutes situations par :

- une réduction de la charge des opérateurs en associant commandes et informations, actions de conduite et de maintenance,
- un traitement d'alarme puissant,
- une présentation fiable et pertinente des informations,
- une aide au diagnostic.

MOYENS

Pour réaliser ces objectifs, Électricité de France et Sema Group ont conçu un système intégré de conduite et d'information assurant :

Une conduite assise :

tous les éléments nécessaires à la conduite et au suivi de l'installation sont à portée de main de l'opérateur.

La cohérence entre conduite et information :

l'interface opérateur/machine a les mêmes caractéristiques, quelle que soit la situation état normal, incident, accident.

Le suivi logistique intégré :

les liens entre le système de conduite et la gestion technique améliorent la maîtrise de l'installation.

Un haut niveau de fiabilité :

les techniques de conception informatiques avancées garantissent au maximum l'intégrité du système.

Une pérennité assurée :

l'architecture ouverte, tant du logiciel que du matériel, permet de nombreuses évolutions.

ARCHITECTURE DU SYSTÈME

L'ensemble de conduite de l'installation est organisé en quatre niveaux :

niveau 3 : Gestion technique (locale ou non)

niveau 2 : Interface opérateur/machine (informatisée et conventionnelle)

niveau 1 : Contrôle-commande

niveau 0 : Capteurs, actionneurs

Le niveau 2 utilise le réseau local industriel à haute disponibilité de Sema Group : «ARLIC».

Tous les éléments importants pour la sûreté des niveaux 0, 1 et 2 sont organisés en deux voies (physiquement séparées).

Cependant, chacune des voies A ou B du niveau 2 peut piloter toute la tranche.

Il y a quatre postes de conduite identiques en salle de commande et un poste opérateur minimal en local de crise.

Les ordinateurs centraux qui traitent les fonctions de conduite, y compris des fonctions critiques, sont des machines 32-bits en configuration redondante.

Les processeurs de communication fonctionnent à la fois en concentrateurs et en serveurs de données.

A titre de diversification, l'architecture partielle est complétée, en redondance passive, par des moyens conventionnels de conduite.

DES MOYENS DE CONDUITE DIVERSIFIÉS

La salle de commande regroupe :

- 4 postes opérateurs identiques pour la conduite,
- 1 synoptique mural donnant une vue générale de la tranche,
- 1 panneau auxiliaire pour la conduite conventionnelle en cas de perte de la conduite informatisée,
- des moyens conventionnels d'actions d'urgence.

SÉQUENCES D'UNE COMMANDE

- choix de l'image de commande,
- sélection d'un matériel (pompe, vanne) à l'aide de la boule roulante ; le menu de commande apparaît sur écran sensitif,
- sélection de la commande par désignation de la case choisie sur écran,
- envoi de la commande par la touche «validation»,
- affichage du compte-rendu de commande sur écran,
- remise à jour de la représentation graphique sur écran.

LA TURBINE «ARABELLE»

Dans la salle des machines où est produite l'électricité qui est distribuée sur le réseau national, l'alternateur est entraîné par la turbine à vapeur la plus puissante du monde.

Ses performances exceptionnelles découlent des nombreuses innovations mises en oeuvre.

UNE ARCHITECTURE OPTIMISÉE

L'innovation qui caractérise de la façon la plus remarquable cette turbine réside dans l'écoulement de la vapeur qui, au lieu de se substituer en flux partiels dès l'admission de la turbine, est maintenu en flux unique jusqu'à une pression d'environ 3,3 bars.

Cette disposition transparait dans l'architecture de la turbine. Celle-ci comporte en effet un corps combiné Haute Pression - Moyenne Pression (HP-MP) dans lequel se trouvent réunies, en un même corps, la veine HP à simple flux et, opposée à celle-ci, la veine MP, qui reçoit la vapeur à son retour des sécheurs-surchauffeurs et la détend, toujours en simple flux jusqu'à son admission dans les corps BP.

En repoussant le plus bas possible dans la détente le point de subdivision des flux, on évite la multiplication des étages de détente et par conséquent le nombre de roues. Par voie de conséquence, la turbine devient plus simple et plus légère.

UN MEILLEUR RENDEMENT

Différents perfectionnements aérodynamiques (diffuseurs HP et MP à aspiration pariétale, diffuseurs Basse Pression -BP- à forte récupération, profils supersoniques des dernières ailettes BP) viennent s'ajouter au gain provenant du simple flux pour porter à 2 % l'amélioration globale de rendement.

Il faut, cependant, pour prendre véritablement conscience de l'importance de ce résultat, raisonner en termes économiques ; si l'on capitalise le supplément d'énergie qu'Arabelle produira pendant toute la durée de son amortissement, on trouve une somme qui dépasse la moitié du prix de la machine.

UNE MACHINE PLUS SIMPLE ET MOINS LOURDE

L'accent a été mis sur la réduction du nombre de roues qui découle du simple flux. Mais, de plus, cette turbine fait appel à une dernière ailette BP plus longue (1450 mm), ce qui agrandit la section axiale de l'étage terminal et réduit par conséquent le nombre des échappements nécessaires et du même coup celui des flux BP.

Pour mesurer les gains réalisés par rapport aux machines des tranches de 1300 MW (qu'il faudrait transposer à la puissance de 1500 MW), «Arabelle» se révèle plus légère de 12 % et plus courte de 7 m.

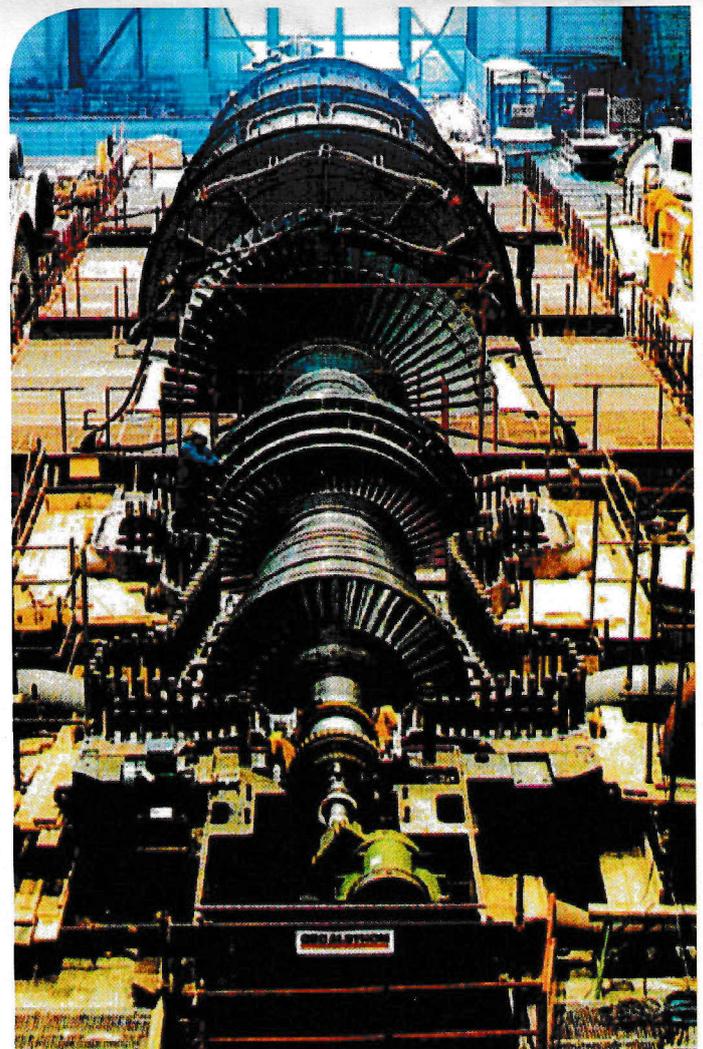
UN GÉNIE CIVIL ALLÉGÉ

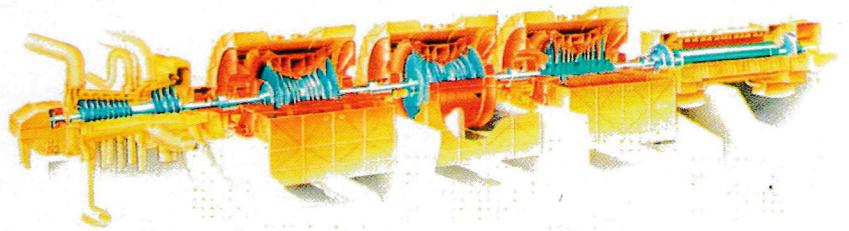
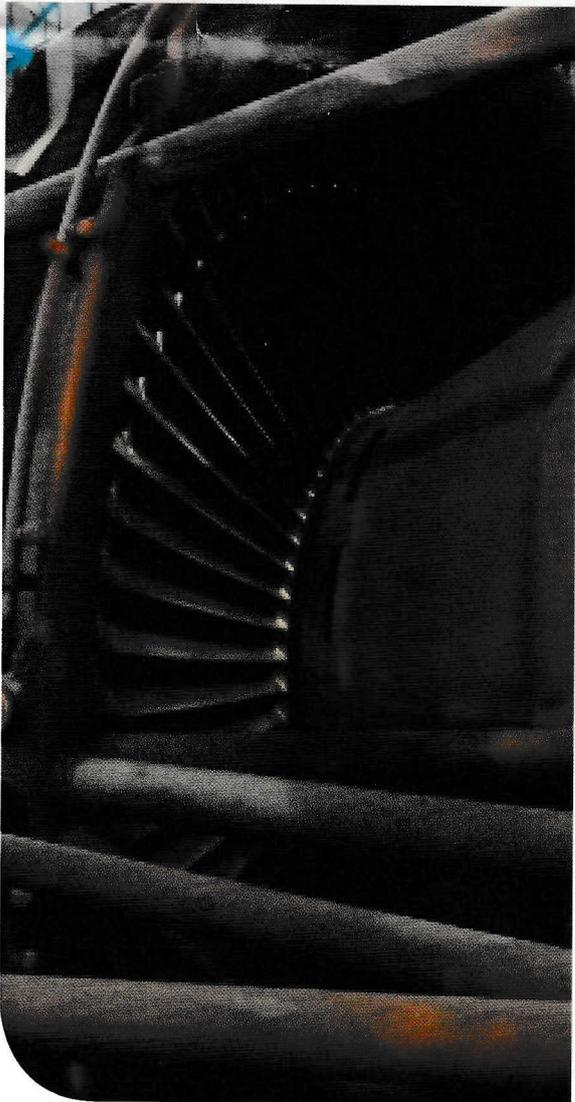
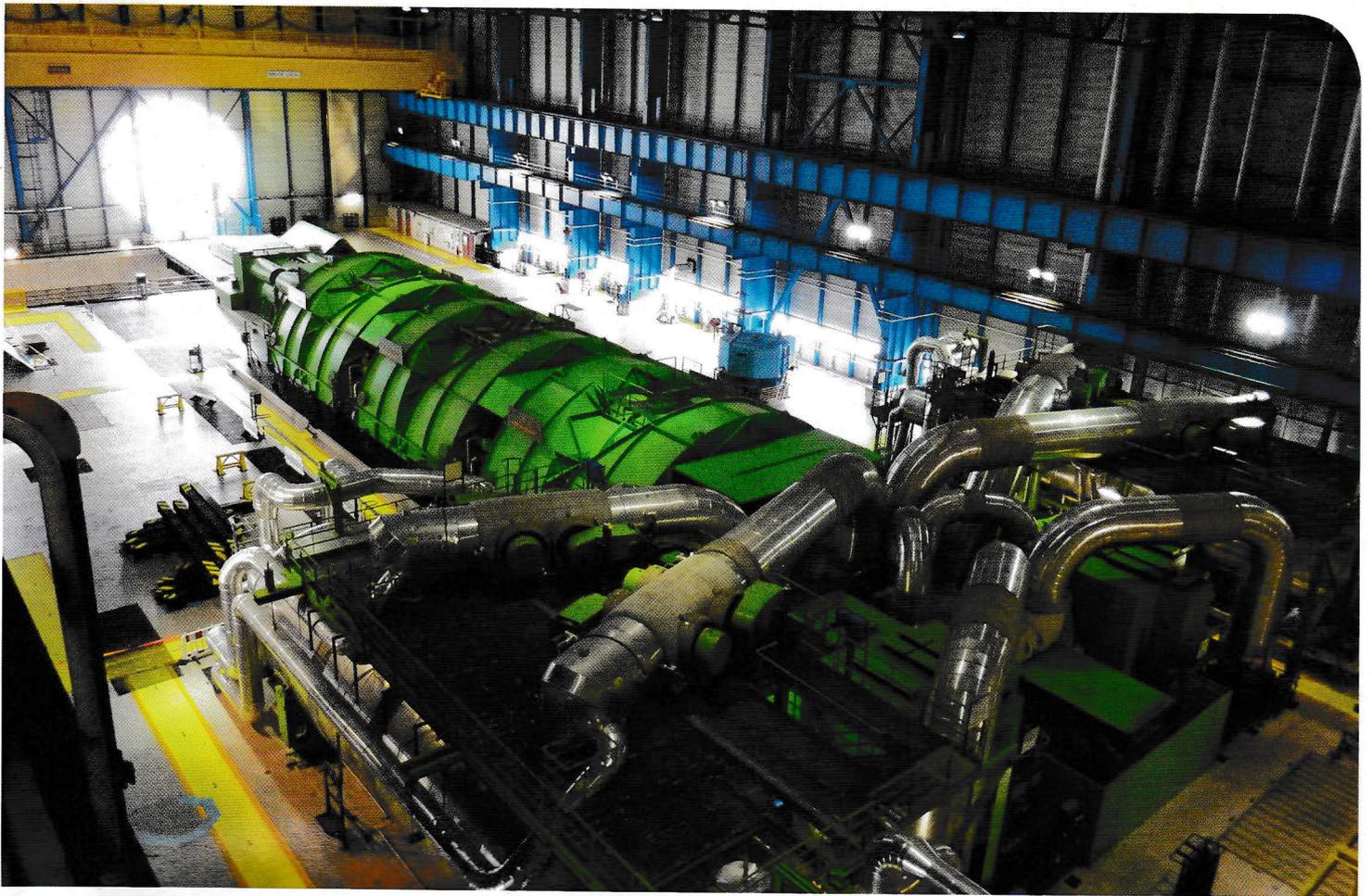
Un nouveau mode de construction dit «à enveloppe indépendante» a été appliqué à la partie statorique des corps BP ; il supprime toute réaction permanente ou variable du condenseur sur la turbine et sa fondation. Il en résulte un allègement considérable du massif, en même temps qu'une insensibilité mécanique de la machine aux variations du vide.

D'autres effets interviennent encore pour simplifier le génie civil de la salle des machines : ce sont la réduction de longueur de la turbine et le regroupement des organes de réadmission autour du corps HP-MP.

UNE FIABILITÉ ACCRUE

Les progrès réalisés dans ce domaine sont attachés, parmi d'autres améliorations, à un nouveau type de soupape de réglage, expérimenté en vraie grandeur sur une turbine des centrales du 900 MW (contrat programme N° 1 - CP1), ainsi qu'aux corps BP à enveloppe indépendante, qui suppriment - comme déjà vu - tout effet mécanique du vide sur la machine, et également au liaisonnement continu des dernières ailettes BP au moyen d'ailerons qui diminuent leurs sollicitations vibratoires.





TURBINE «ARABELLE» - CARACTÉRISTIQUES

1 corps haute pression - moyenne pression (HP - MP)

3 corps basse pression (BP)

CARACTÉRISTIQUES DE LA VAPEUR :

■ Entrée corps HP : 71 bars	T = 286,7°C	Débit = 2176 kg/s
■ Entrée corps MP: 10,05 bars	T = 268,3°C	Débit = 1482 kg/s
■ Entrée corps BP : 3,2 bars	T = 151,04°C	Débit = 460 kg/s

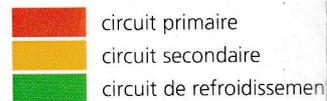
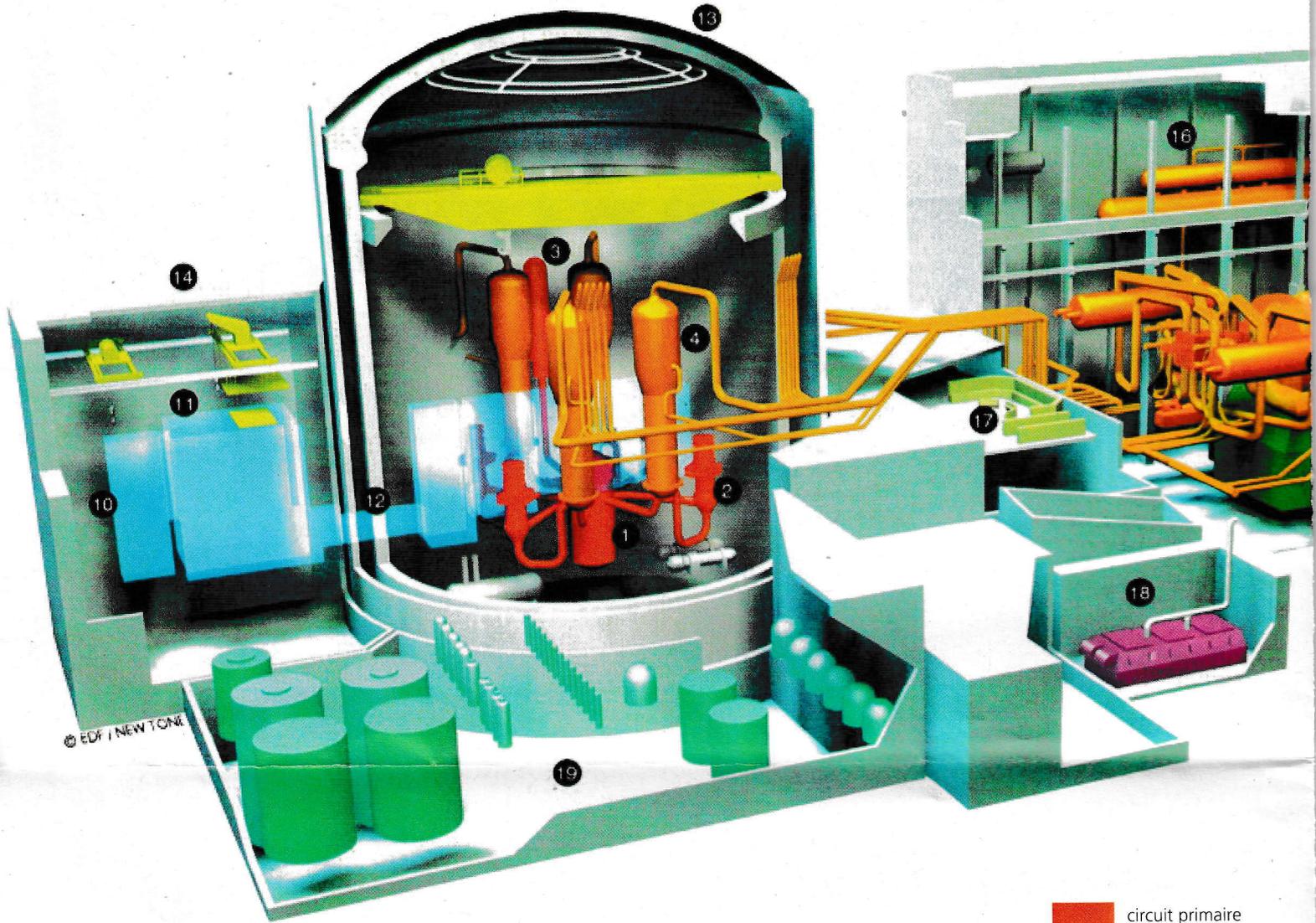
La turbine est installée sur un plancher béton à 16,60 m de hauteur.

- Masse des éléments en rotation : 620 t
- Ø dernière roue MP : 4,150 m
- Ensemble turbine alternateur : 68,770 m
- Vitesse de rotation : 1500 tours/mn
- Puissance électrique : 1520 MW

Le temps de démarrage à froid est de 3 h 40 mn - à chaud, 1 h 50 mn.

En une minute, 50 MW supplémentaires peuvent être fournis pour répondre à la demande de la consommation.

LA CENTRALE NUCLÉAIRE 1450 MW



1 Cuve du réacteur

hauteur avec couvercle : 13,66 m
 diamètre : 4,65 m
 épaisseur : 23 cm
 masse cuve : 342,7 tonnes
 masse couvercle : 84,8 tonnes
 température eau entrée : 292°C
 température eau sortie : 329°C
 pression : 155,1 bars

2 Pompe primaire (x 4)

hauteur : 8,50 m
 masse : 116 tonnes
 vitesse : 1485 t/mn
 débit : 24500 m³/h
 température : 292°C
 hauteur de refoulement : 106 mCE
 puissance moteur électrique : 9590 kW - 6,6 kV

3 Pressuriseur

diamètre extérieur : 2,80 m
 épaisseur : 13 cm
 hauteur : 13,536 m
 masse vide : 117 tonnes

4 Générateur vapeur (x 4)

hauteur : 21,90 m
 diamètre supérieur : 4,76 m
 diamètre inférieur : 3,70 m
 masse : 421 tonnes

5 Turbine «Arabelle»

longueur : 51,205 m
 largeur (hors tout) : 12,80 m
 masse : 2810 tonnes

6 Sécheur surchauffeur (x 2)

longueur : 24,80 m
 diamètre : 4,70 m
 masse : 370 tonnes
 température : 180°C
 pression : 10 bars

7 Condenseur

longueur : 37,10 m
 largeur : 21,50 m
 hauteur : 15,49 m
 masse vide : 1893 tonnes
 nombre de tubes : 128856
 surface d'échange : 103227 m²
 débit eau refroidissement : 48,35 m³/s

8 Alternateur

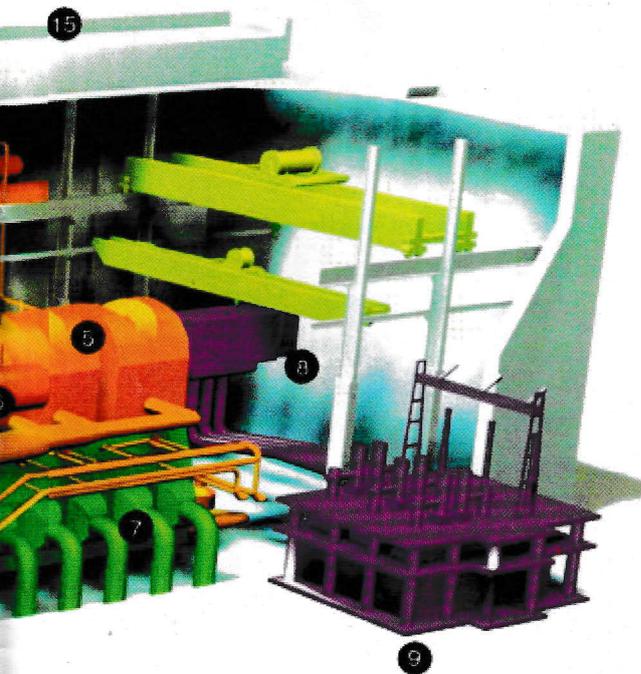
longueur : 17,57 m
 diamètre stator : 4,15 m
 diamètre rotor : 1,95 m
 masse du rotor : 230 tonnes
 masse du stator : 505 tonnes
 puissance de l'alternateur : 1710 MVA
 intensité : 49363 A
 tension : 20000 V
 vitesse de rotation : 1500 t/mn

9 Transformateur principal

masse : 840 tonnes
 puissance : 1710 MVA
 longueur : 11 m
 largeur : 6 m
 hauteur : 8,40 m

10 Fosse de chargement

longueur : 4,50 m
 largeur : 2,60 m
 profondeur : 13 m
 volume : 152 m³



11 Piscine du bâtiment combustible

612 alvéoles
température de l'eau en situation normale : 50°C
température de l'eau en situation de déchargement : 60°C
débit d'eau de refroidissement : 380 m³/h
longueur : 12,50 m
largeur : 7,50 m
profondeur : 14,30 m
Assemblage combustible :
section : 214 x 214 mm
hauteur : 4,793 m
poids : 780 kg
264 crayons
diamètre crayons : 8,17 mm

12 Tube transfert élément combustible

longueur : 7 m
diamètre intérieur : 0,50 m

13 Bâtiment réacteur

Enceinte externe :
diamètre : 50,90 m
hauteur : 63,18 m
épaisseur : 0,55 m
Enceinte interne :
diamètre : 43,80 m
hauteur : 59,85 m
épaisseur : 1,20 m

14 Bâtiment combustible

hauteur : 38,25 m
largeur : 26,40 m
longueur : 28 m

15 Salles des machines

hauteur : 50 m
longueur : 120 m
largeur : 65 m

16 Bâche alimentaire/Dégazeur

Bâche alimentaire :
longueur : 45,50 m
diamètre : 4,20 m
masse : 235 tonnes
volume : 600 m³
température : 207°C
pression : 18 bars
Dégazeur :
longueur : 32,60 m
diamètre : 3 m
masse : 113 tonnes

17 Salle de commande

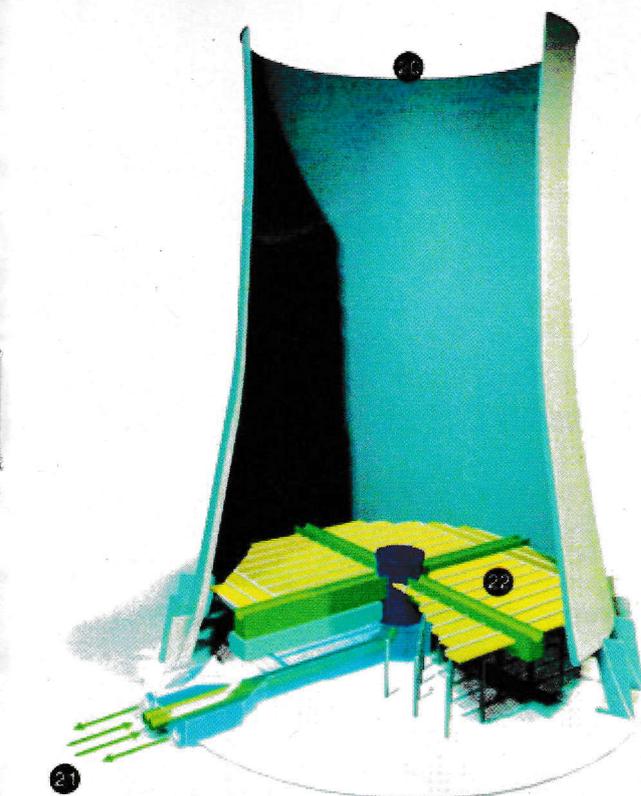
hauteur : 3,20 m
longueur : 15 m
largeur : 11,40 m

18 Bâtiment groupe électrogène

longueur : 9,50 m
masse moteur diesel : 104 tonnes
masse alternateur : 39 tonnes
puissance électrique : 7500 kW
tension : 6,6 kV

19 Bâtiment de traitement

effluents primaires et gazeux
stockage acide borique
contrôle volumétrique et chimique



LE RÉFRIGÉRANT ATMOSPHÉRIQUE

20 Réfrigérant atmosphérique

diamètre base coque : 134,45 m
diamètre sortie : 87,83 m
hauteur entrée d'air : 14,10 m
hauteur totale : 172 m
épaisseur de la coque de 1,71 m (base) à 0,27 m (sortie)

21 Entrée-sortie d'eau de refroidissement

22 Zone d'échange eau/air

débit d'eau à refroidir : 174000 m³/h
(48,35 m³/s)
température d'eau chaude (entrée) : 35°C
température d'eau refroidie (sortie) : 21,5°C
perte par évaporation : 0,75 m³/s (soit 1,5 %)

N4



UNE DES CENTRALES NUCLÉAIRE LES PLUS «AVANCÉES» MISE EN SERVICE DANS LE MONDE

■ Avancée par son niveau de sûreté

Elle prend en compte dans sa conception les leçons tirées de l'accident de Three Mile Island et surtout l'expérience d'exploitation la plus importante du monde.

■ Avancée par sa technologie

Elle met ainsi en oeuvre les découvertes les plus récentes dans les domaines de la métallurgie, les réflexions les plus poussées sur la neutronique du coeur nucléaire, les innovations techniques les plus remarquables dans la turbine «Arabelle».

■ Avancée surtout par son contrôle-commande

Le pilotage du réacteur se fait par une véritable «Conduite Assistée par Ordinateur». Tous les états qui peuvent être rencontrés au cours de l'exploitation de la centrale ont été prévus et chargés dans des calculateurs. Ceux-ci proposent aux opérateurs, le diagnostic sur les situations réelles de la centrale et les procédures les plus appropriées à appliquer.

Cette conception moderne de pilotage n'est rendue possible que par une connaissance approfondie du fonctionnement et de l'exploitation des centrales qui permet d'introduire a priori les états de marche du réacteur et les procédures de conduite. La France a été précurseur pour la mise en oeuvre de cette démarche.

Le N4 a donc une très grande avance technique sur toutes les centrales nucléaires mises en service avant celle de Chooz B1. Au plan de la sûreté, il se place avantageusement parmi les réacteurs dits avancés de nouvelle génération. Le N4 confirme que le nucléaire est le moyen de production d'électricité le plus sûr, le plus rentable et le plus respectueux de l'environnement. Les quatre unités du palier N4 ont été couplées au réseau électrique en août 1996 et avril 1997 pour les deux premières (Chooz, Ardennes) et en décembre 1997 et décembre 1999 (Civaux, Poitou-charentes) pour les deux plus récentes.

LE N4 EST LE RÉSULTAT DE PLUS DE 1000 ANNÉES RÉACTEURS D'EXPÉRIENCE D'EXPLOITATION

En effet, depuis 1977, chaque incident, chaque détail relevé dans l'exploitation du parc des centrales nucléaires d'EDF a fait l'objet d'un compte rendu et d'une analyse technique approfondie. Les résultats sont repris pour améliorer constamment la sûreté, le fonctionnement et l'exploitation des 58 tranches existantes. Mais plus encore, ils sont à la base de la conception des systèmes, des équipements et du mode d'exploitation des centrales à construire. Sans ce retour d'expérience, le contrôle-commande du N4 n'aurait pas pu voir le jour. Le N4 est ainsi le fruit le plus élaboré du savoir-faire d'ingénierie et d'exploitation qu'EDF développe depuis plus de 50 ans dans le domaine des réacteurs à eau pressurisée.

