

Les travaux de génie civil et le confinement du bâtiment réacteur

Par R. LEVET*

I. LE SITE

A. Implantation géographique

L'Institut Max Van Laue-Paul Langevin est implanté au confluent de l'Isère et du Drac, à une altitude moyenne de 207 m NGF sur un terrain de 20 hectares.

B. La population

La population de l'agglomération de Grenoble-ville, était d'environ 300 000 habitants avec une densité de 10 000 à 20 000 h/km².

C. Météorologie

Les conditions météorologiques de la région sont tributaires d'un régime général, participant à la fois de l'influence méditerranéenne et de l'influence atlantique ; d'un régime local, dû à la convergence de trois vallées entourées de massifs montagneux élevés (le massif de Belledune atteint 3 000 m).

Le régime des vents laisse apparaître une prédominance des vents de NO (Cluse de Voreppe) et des vents de SE (vallée du Drac), avec une inversion diurne-nocturne.

D. Structure du sol

Nous sommes en présence de deux massifs calcaires (Vercors et Chartreuse) et d'un massif cristallin (Belledune) enserrant une plaine alluviale sensiblement plane. Cette plaine alluviale, formée par des dépôts apportés par l'Isère et le Drac, est influencée par la divagation du Drac au cours du temps, en particulier au confluent Isère-Drac, ce qui explique la grande hétérogénéité de géométrie des différentes couches rencontrées. Cependant trois couches principales peuvent être mises en évidence :

- en surface, des limons sablo-argileux ;
- sous les limons, une couche d'alluvions grossières comportant des sables et des graviers et parfois des lentilles d'argile.
- sous la couche d'alluvions grossières d'épaisseur très variable, selon le lieu, on trouve des alluvions fines, constituées de limons argileux d'origine fluvio-lacustre. L'épaisseur de cette couche n'a jamais pu être déterminée puisque des sondages descendus en 1942 jusqu'à 400 m n'ont pas trouvé le lit rocheux support.

Le tassement prévu de ce type de sol sous le poids du réacteur était de l'ordre de 0,25 m, ce qui a nécessité un préchargement du sol par un remblai. Ce remblai

*Division de Construction des Réacteurs CEN de Saclay.

devant par la suite servir à mettre les bâtiments à l'abri des crues du Drac et de l'Isère.

E. Hydrologie - Nappe phréatique

1. La nappe phréatique, qui coule du Drac vers l'Isère, n'a pas été, après études approfondies, jugée capable de fournir l'eau de refroidissement du réacteur. Dès lors, la construction d'un seuil d'enrochement sur le Drac a été rendue nécessaire pour permettre à un ouvrage de prise d'eau de satisfaire en toutes saisons les besoins du R.H.F. et des installations annexes, ainsi que pour assurer les besoins complémentaires des installations contiguës du C.N.R.S. et du C.E.N. de Grenoble.

2. Les crues de l'Isère et du Drac : les crues millénaires pour l'une et l'autre rivière peuvent atteindre 3 000 m³/s. Pour les crues centenaires, les évaluations varient entre 1 800 et 2 500 m³/s. Le Drac est canalisé et, si les digues ne sont pas endommagées, la ville est à l'abri de la crue millénaire avec une protection complémentaire, apportée par la régularisation des débits par les barrages hydrauliques amonts.

Pour l'Isère, la situation est moins nette ; aussi a-t-il fallu protéger les installations contre les crues par l'interposition d'un remblai de l'ordre de 3 m de hauteur et construire le sous-œuvre des bâtiments de façon étanche parce qu'il se trouve de plus dans la nappe phréatique qui coule à 205 NGF.

F. Séismologie

La région de GRENOBLE est une région sismique qui relève de la sismicité générale des Alpes et se rattache plus précisément à l'arc des séismes préalpins.

On a retenu comme degré de protection celui correspondant à un séisme de force 8 de l'échelle MERCALLI modifiée (maximum enregistré ≈ 7,5 à l'épicentre à Corençon en 1964). Il convient de noter que la couche d'alluvions définie ci-dessus, si elle amortit les fréquences des ondes sismiques, a tendance à augmenter les amplitudes.

Les règles appliquées à la construction des bâtiments sont les para-séismiques 67 pour l'intensité 8 avec les corrections ci-après :

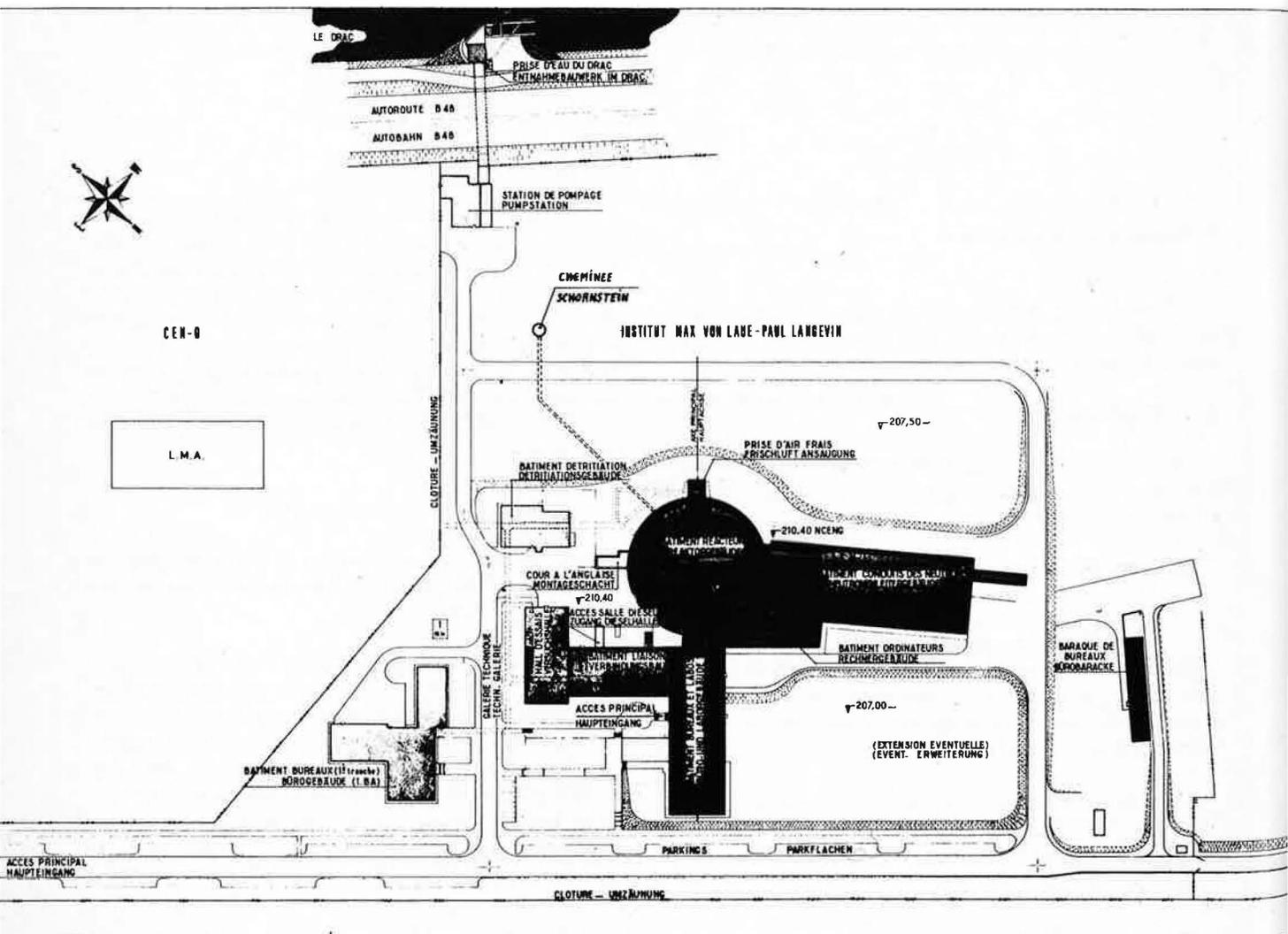


Fig. 1. Plan de masse

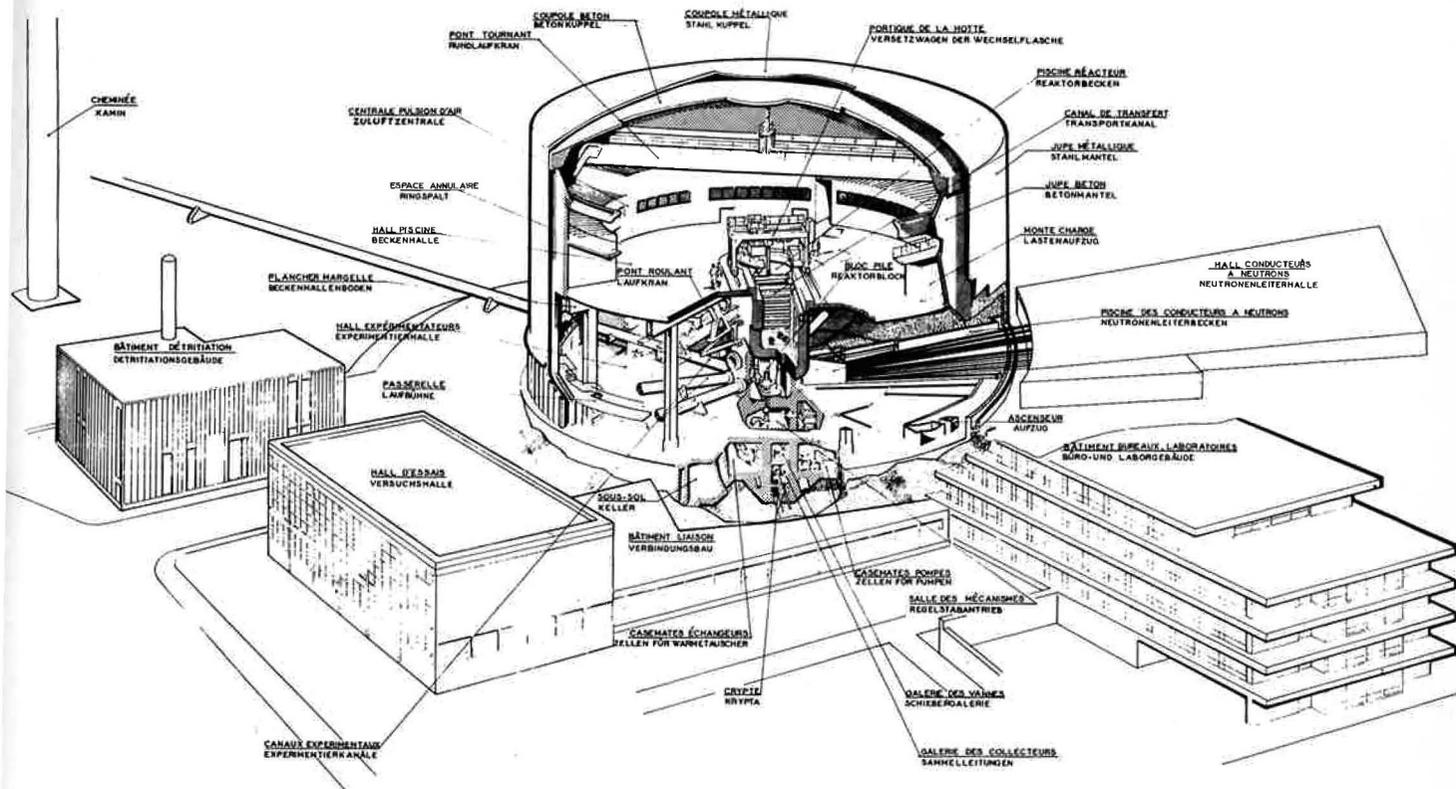


Fig. 2 - Perspective d'ensemble

1) Prise en compte des déformations du sol :

Le radier a été calculé en tenant compte de l'éventualité d'une dilatation ou d'une compression du sol, s'ajoutant aux effets des variations linéaires dues aux effets de la température, du retrait, du fluage et des forces de précontrainte, égale à $2,2 \cdot 10^{-4}$.

2) Coefficients séismiques à considérer :

- a) Cœur du réacteur et éléments directement liés : la protection choisie est du type intrinsèque. Pour tenir compte des caractéristiques propres de la construction, les accélérations ont été prises "forfaitairement" pour 0,30 dans le sens horizontal et 0,20 dans le sens vertical, pour tous les éléments.

En ce qui concerne les sollicitations dans les directions horizontales, on a considéré ces directions indépendamment, en s'abstenant de composer leurs effets suivant deux directions rectangulaires.

- b) Les éléments non solidaires du cœur du réacteur : protection du type nominal. Ils ont été considérés comme des ouvrages d'amortissement faible et les accélérations prises pour 0,20 dans les deux sens

Ces précautions ont été aussi appliquées aux ponts roulants et à leur charge.

II. CONFINEMENT ET GENIE CIVIL

A. Conception du bâtiment pile et des enceintes étanches.

Le bâtiment du réacteur à Haut Flux est conçu pour assurer trois fonctions principales :

- abriter le réacteur et ses installations ;
- réaliser un confinement par rapport à l'extérieur ;
- permettre un confinement interne par niveau et type d'utilisation.

Pour satisfaire à ces conditions :

- a) L'enceinte intérieure en béton est calculée pour supporter une surpression intérieure, supérieure à celle qui serait produite par l'accident maximal (120mbar) .
- b) Le taux de fuites vers l'extérieur est très réduit, par suite du choix d'un système de double enceinte concentrique entre laquelle est maintenu une pression d'air neuf, supérieure à la surpression intérieure occasionnée par l'accident.
- c) Le confinement est assuré automatiquement en cas d'accident par la fermeture rapide de clapets isolant le système de ventilation. Le rejet par la cheminée

après passage sur filtres et pièges à iode pouvant être modulé en fonction de la radioactivité de l'air confiné.

- d) Intérieurement, les locaux à risque tritium sont confinés par un échelonnement de pression qui permet de protéger la zone réservée aux expériences de toutes contaminations radioactives susceptibles de provenir des zones d'exploitation. Dans les zones d'exploitation, les zones de circulation sont en surpression par rapport aux zones de travail.

B. Réalisation du confinement

1) Le confinement global du bâtiment réacteur

Le confinement global du bâtiment est réalisé par une double enceinte, de forme cylindrique, avec toit hémisphérique. L'enceinte intérieure est entièrement en béton armé, tandis que l'enceinte extérieure, en béton armé dans sa partie enterrée, est constituée par une jupe et une coupole en acier à partir du niveau 210,50.

Entre les deux enceintes, le système de ventilation maintient en permanence une surpression supérieure à la pression d'accident, ce qui canalise les fuites de l'enceinte béton vers l'intérieur du bâtiment. Cette pression est de 150 mbar.

En fonctionnement normal, les entrées d'air sont équilibrées par un rejet à la cheminée après contrôle de la radioactivité.

En cas d'accident, tout rejet étant stoppé, la pression intérieure monte jusqu'à son équilibre avec la pression annulaire sous l'effet simultané de l'accident et des entrées d'air propre de l'espace inter-enceinte. Vers l'équilibre, le temps de montée en pression est long, ce qui permet d'être maître du moment où les rejets peuvent être effectués.

2) Etanchéité vis-à-vis de la nappe phréatique

La crypte et la partie basse du sous-sol baignent dans la nappe phréatique. L'étanchéité de cette partie de bâtiment est assurée par l'épaisseur propre du radier complétée par une feuille de polychlorure de vinyle.

3) Confinement interne du bâtiment réacteur.

Tout d'abord, l'étanchéité a été réalisée entre chacun des trois niveaux par l'obturation de toutes les trémies, traversées, etc. et par l'aménagement de sas aux communications pour le personnel, ou les matériels.

Ces dispositions permettent d'avoir une ventilation indépendante pour chacun des trois niveaux et d'orienter le sens des fuites en réglant les niveaux de pression à des valeurs différentes. Ainsi, en service normal, le hall "Expérimentateurs" est à la pression atmosphérique, alors que le hall piscine et le sous-sol sont à des pressions légèrement inférieures. Il reste néanmoins possible, en cas d'accident donnant lieu à contamination dans le hall Expérimentateurs, d'inverser rapidement les niveaux de

pression et de mettre ce hall en dépression par rapport au hall piscine et à la zone inactive du sous-sol. De même, le sous-sol et le hall piscine sont divisés en zones de pressions différentes de façon que les fuites se produisent toujours des zones les moins actives vers les zones les plus actives (zone arrière cellule et cellule chaude pour le hall pile, de même que locaux du bloc arrière contenant les circuits d'eau lourde - couloirs actifs, casemates, crypte pour les locaux du sous-sol).

C. Dispositions intérieures du bâtiment réacteur

Le bâtiment est un ouvrage cylindrique à trois niveaux principaux, au centre duquel se trouve la piscine du réacteur à partir de laquelle, orienté suivant un rayon, part le canal de transfert conduisant à la cellule chaude.

La piscine qui contient le bloc-pile est une structure en béton et acier avec cuvelage en acier inoxydable, remplie d'eau déminéralisée.

Les trois niveaux principaux du bâtiment sont, de bas en haut :

- le sous-sol et sa crypte ;
- le hall expérimentateurs ;
- le hall piscine.

1) *Le sous-sol* (niveau 204,25), exclusivement réservé à l'exploitation, contient les circuits de refroidissement eau lourde et légère, ainsi que la centrale d'extraction et les filtres de la ventilation.

2) *La crypte*, à un niveau moins élevé encore que le sous-sol, mais d'étendue limitée, recueille les points bas des circuits (stockage, détection de fuites, etc.) ; elle se situe au niveau 200,00.

3) *Le hall Expérimentateurs* est exclusivement réservé aux expériences. Le plancher, à 210,50, ouvre de plain pied sur le terre-plein extérieur.

De plus, la disposition "en pont" du canal de transfert qui s'appuie d'une part sur le mur piscine, d'autre part sur le bloc arrière cellule permet l'accès autour de toute la périphérie de la piscine.

4) *Le hall piscine*, dont le plancher est à la cote 224,90, est essentiellement réservé à l'exploitation. Néanmoins, il peut recevoir autour de la piscine certains équipements expérimentaux, notamment ceux nécessitant un accès au bloc-pile par le haut.

C'est dans ce hall que sont installées les installations de manutention du combustible, la centrale de pulsion d'air, la cellule chaude, l'assemblage sous-critique.

Ce hall conduit aux locaux du bloc arrière qui contiennent les points hauts des circuits.

D. Génie civil du bâtiment réacteur : principes de construction

Les structures principales constituant le bâtiment réacteur sont :

- le radier alvéolé ;
- les enceintes étanches ;
- le plancher du hall pile ;
- la piscine, le noyau central et le canal de transfert.

1. *Radier alvéolé* : l'ensemble radier-crypte constitue la partie inférieure du bâtiment et contribue à l'étanchéité globale. Il a été construit de manière classique, à l'abri d'une paroi moulée dans le sol.

Le radier a été étudié pour supporter toutes les charges et surcharges situées au dessus de 210,50, y compris celles apportées par les enceintes étanches.

Ce radier est constitué par un bloc monolithe bétonné, de 7 à 10 m d'épaisseur, dont les alvéoles constituent les salles et les circulations du sous-sol.

A la périphérie, deux murs circulaires de 0,40 m et 0,50 m d'épaisseur et séparés par un espace de 0,80 m soutiennent les deux enceintes étanches, celle métallique extérieure et celle bétonnée intérieure.

A la cote 210,50, la face externe de la dalle du radier forme le plancher du hall Expérimentateurs, alors qu'à la cote 204,25 la dalle inférieure du radier forme le plancher du sous-sol.

2. *Les enceintes étanches* comprennent :

- La jupe métallique et sa coupole, constituées de tôles soudées de 11 mm pour la jupe, 6,5 mm pour la coupole avec, à leur jonction, un anneau de compression en tôle d'épaisseur 20 mm à section triangulaire.
- La jupe bétonnée et sa coupole, d'épaisseur 0,40 m pour la jupe et 0,30 m pour la coupole avec, à leur jonction, une ceinture précontrainte réalisée à partir d'éléments préfabriqués.

3. *Le plancher du hall pile* : le plancher du hall pile est constitué par une dalle en béton supportée par une structure métallique de piliers et de poutres principales et secondaires. La dalle de 0,20 m d'épaisseur repose librement sur les poutres métalliques, mais est encastrée sur le noyau central.

Les poutres radiales sont des poutres en caisson de 2 m de hauteur environ, reposant à une extrémité sur le noyau central, par l'intermédiaire d'appuis en néoprène et, à l'autre extrémité, sur des poteaux métalliques.

Les poutres transversales sont des fers HE du commerce, dont la hauteur maximum est de 1 m.

Les poteaux métalliques sont articulés à leurs deux extrémités sur des appuis cylindriques permettant la libre dilatation dans le sens radial.

Un jeu de 2 à 3 cm est réservé à la périphérie entre la dalle et l'enceinte en béton pour éviter tout appui du plancher sur l'enceinte en cas de séisme ou d'accident.

4. *Piscine* : Le cuvelage piscine de 6 m de diamètre est réalisé en tôles d'acier inoxydable de 10 mm d'épaisseur pour le fond et la partie inférieure de la virole et de 6 mm d'épaisseur pour la partie supérieure de la virole. Le fond est simplement posé sur la dalle de béton préalablement polie.

5. *Noyau central* : le noyau central qui contient le cuvelage est constitué par deux coques cylindriques en acier ordinaire entre lesquelles est fait un remplissage en béton très lourd (d = 5,5) entre les niveaux 210,15 et 215,00. Au dessus, le remplissage a été effectué en béton ordinaire.

La mise en place de ces bétons, et en particulier celle du béton très lourd, a fait l'objet de précautions pour obtenir une bonne homogénéité et limiter les effets de retrait.

- coulage en 4 secteurs sans interruption par section et par couches horizontales de 30 cm environ ;
- joints de reprise en chicane ;
- vibrations à haute fréquence (16 à 18 kilocycles) et de brève durée, de façon à obtenir une liquéfaction homogène de la couche sans risque de ségrégation.

Composition type du béton de densité 5,5 (pour 1 m³ de béton) :

- eau	150 kg
- riblons	3 450 kg
- grenaille 18 °H	1 000 kg
- grenaille 100 °H	250 kg
- sable de baryte	525 kg
- ciment CP A 325	350 kg
	5 735 kg

6. *Canal de transfert* : La construction du canal de transfert est classique. Le cuvelage est réalisé en tôle d'acier inoxydable d'une épaisseur de 6 mm. Le fond et les parois du canal, qui contiennent le cuvelage, sont en béton ordinaire.

Côté piscine, la structure en béton est solidaire du noyau central. A l'autre extrémité, elle s'appuie sur les parois des locaux inférieurs du bloc arrière, par l'intermédiaire de plaques en néoprène.

Les parois des locaux du bloc arrière situées au-dessus de cet appui (niveau 214,10) ainsi que la cellule chaude sont solidaires de la structure du canal.

7. *Pénétration dans le bâtiment* : Toutes les pénétrations dans le bâtiment comportent un dispositif d'étanchéité à la traversée de chacune des deux enceintes.

E. Description — Caractéristiques générales

Une coupe du bâtiment est représentée par la figure 3, la désignation des locaux est donnée par la figure 4.

1. Crypte

La crypte a la forme générale d'une croix à bras inégaux dont le grand axe a la même orientation que celle du canal de transfert.

La structure est alvéolaire et tous les locaux sont de forme carrée ou rectangulaire.

Ils s'étendent sur deux niveaux :

- 201,80 N.C.E.N. - G pour la plus grande branche orientée vers le bâtiment bureaux-laboratoires.
- 200,00 N.C.E.N. - G pour les trois autres branches et le local central.

Leur volume est de 700 m³ environ.

Pour améliorer la résistance de la plaque inférieure à 203,45 N.C.E.N. - G, les extrémités des trois petites branches sont prolongées par des volumes à fonds inclinés ; deux d'entre eux sont aménagés en bâches.

2. Sous-sol

Le sous-sol est constitué par un volume cylindrique d'un diamètre de 60 m et a une hauteur de plafond de 5,20 m, limitée par deux dalles circulaires en béton.

Ce volume est cloisonné en 44 alvéoles par un réseau orthogonal de voiles, dont une des directions est parallèle à l'axe du canal de transfert. L'ensemble des deux dalles et des cloisons forme un radier alvéolé pour le bâtiment réacteur qui est capable de supporter toutes les charges sans déformation préjudiciable.

Les dimensions et les formes des alvéoles sont variées, mais la plus grande dimension ne dépasse pas 11 mètres.

Tous les locaux sont au niveau 204,25 m, sauf la galerie des vannes, dont le niveau est 206,90 N.C.E.N. - G

Les épaisseurs courantes des voiles et dalles sont les suivantes :

- dalle inférieure : 0,80 m
- dalle supérieure : 0,80 m
- voiles : 0,80 m
- mur circulaire : 0,40 m

Pour certains locaux à haute activité, l'épaisseur des voiles et de la dalle supérieure est considérablement augmentée et peut atteindre 1,75 m.

Le volume du sous-sol est de 11 000 m³ environ.

3. Hall Expérimentateurs

Le hall Expérimentateurs est un hall circulaire, dont le centre est occupé par la piscine, appelé noyau central.

Une piscine pour les conducteurs de neutrons est accolée au noyau central. Le niveau du hall Expérimentateurs est 210,50 N. CEN-G.

Ses principales caractéristiques sont :

- diamètre extérieur : 60 m
- hauteur sous plafond : 14,19 m

Le sol du hall comporte :

- Un réseau de caniveaux radiaux et circulaires recouverts de dalles. Ces caniveaux sont destinés aux expériences.
- 11 chemins de roulement, disposés dans l'axe de chaque canal horizontal, et permettant le déplacement des châteaux de défournement.

Une passerelle circulaire, au niveau 215,40 accolée à l'enceinte, fait tout le tour du hall. Elle est desservie par un escalier entre chaque canal horizontal et permet la circulation d'une expérience à l'autre lorsque le sol est entièrement occupé.

D'autres passerelles sont suspendues au plafond pour permettre l'accès aux chemins de câbles et aux tuyauteries disposées sous celui-ci.

4. Hall piscine

Le hall piscine est un hall circulaire, fermé à sa partie supérieure par une coupole de forme sphérique. Situé au centre, l'orifice de la piscine se prolonge par le canal de transfert suivant un rayon dirigé sensiblement vers le bâtiment bureaux-laboratoires.

Outre la cellule chaude et sa zone arrière, la périphérie du hall est occupée par différents locaux.

Le niveau du hall piscine est 224,90 N. C.E.N. - G; ses principales caractéristiques sont :

- diamètre : 60 m
- hauteur du centre : 22,90 m
- hauteur de la périphérie : 15,46 m
- hauteur sous crochet du pont tournant : 12,50 m
- volume net du hall : 34 400 m³

Le plancher du hall, appelé "plancher margelle" comporte :

- une fosse pour l'entretien des hottes de manutention ;
- trois trappes pour le passage de matériel entre le hall Expérimentateur et le hall piscine.

La plus grande de ces trappes, située à proximité de la verticale de la porte camion, mesure 4 m x 6 m. Une

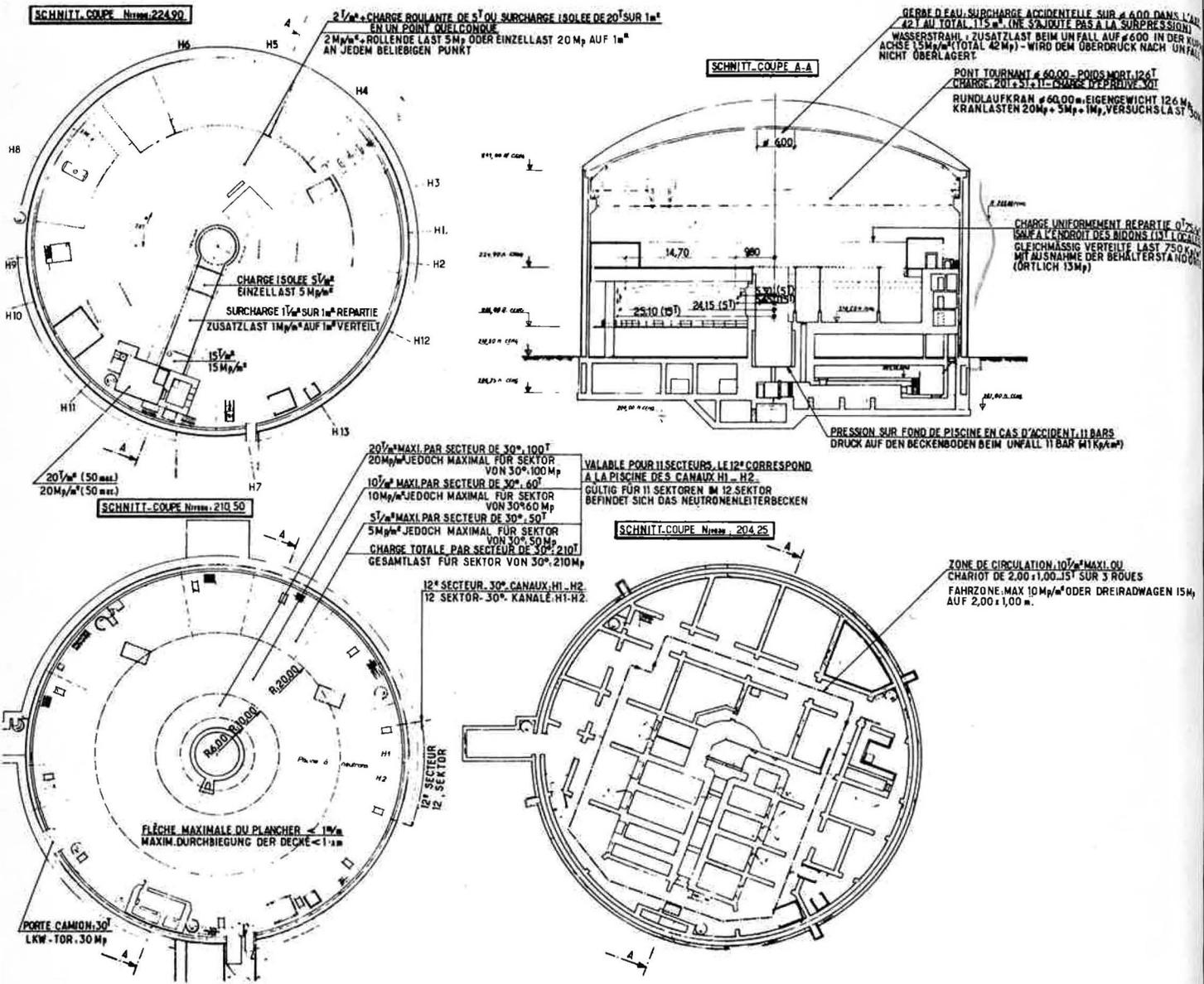


Fig. 5. - Localisation des surcharges

de ces trappes est placée à la verticale de la piscine des conducteurs de neutrons.

Le hall est équipé d'un pont tournant d'une force de 20 000 daN.

5. Noyau central

Le noyau central comprend, de bas en haut :

- Les orifices des 12 canaux expérimentaux horizontaux avec, pour 11 d'entre eux, des points d'accrochage pour des portes de protection, le douzième (H1-H2) débouchant directement dans la piscine des conducteurs de neutrons.

- Une passerelle circulaire permettant la mise en place de plates-formes horizontales ou inclinées, sous chaque canal incliné expérimental, soit pour installer les expériences, soit pour effectuer des démontages.
- Les orifices des 4 canaux inclinés expérimentaux avec des points d'accrochage pour des portes de protection.
- Des points d'accrochage pour des potences de maintenance de 5 000 daN.
- Des points d'accrochage pour les plates-formes des canaux inclinés.

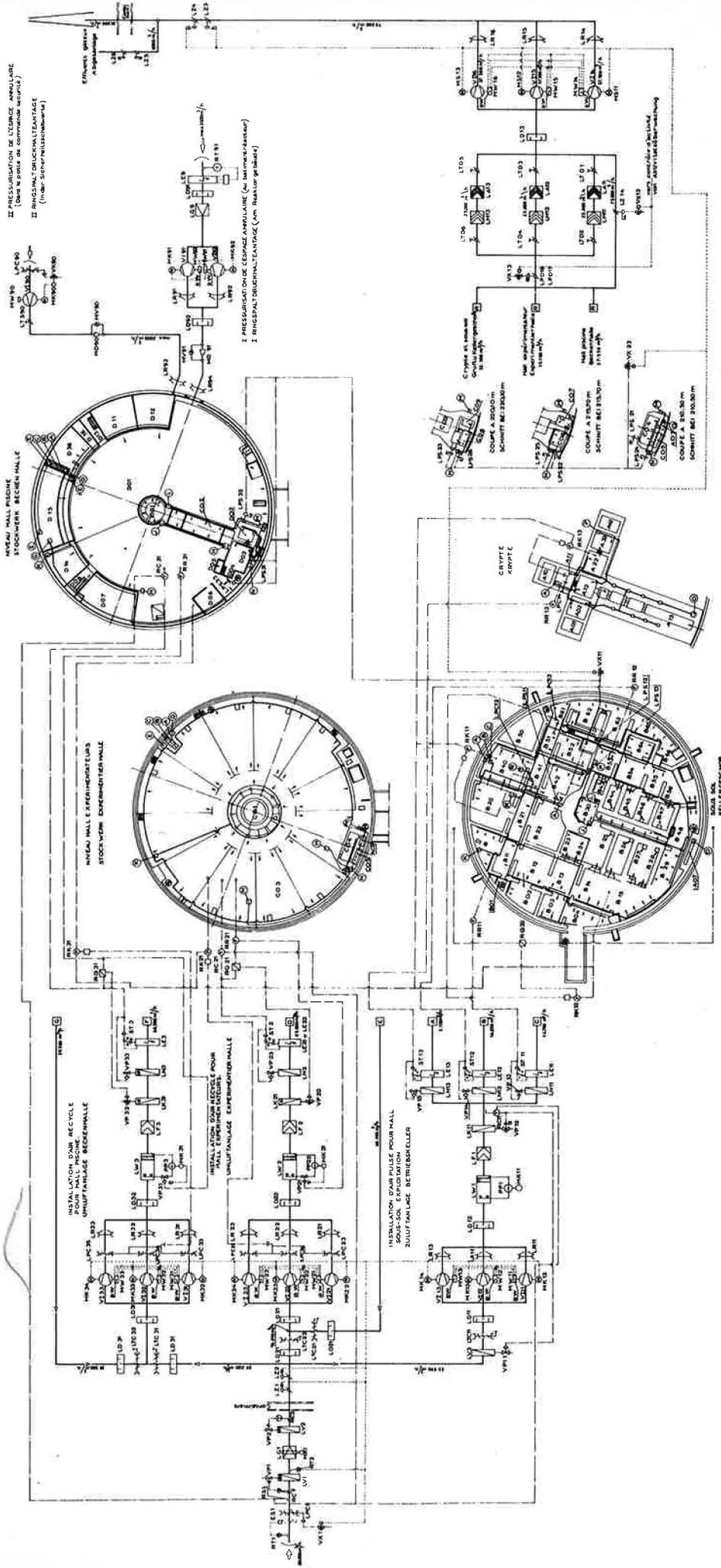


Fig. 6. — Schéma de la ventilation