

AUSCULTATION DES RÉFRIGÉRANTS ATMOSPHÉRIQUES

par Jean COMBE
Ingénieur ESGT Service Topographie EDF

Le développement du programme thermique et nucléaire d'ÉLECTRICITÉ de FRANCE, depuis quelques années, implique l'utilisation d'une source froide pour condenser la vapeur à la sortie de la turbine. Deux solutions sont possibles :

— circuit ouvert, c'est-à-dire, utilisation directe, par pompage, de l'eau des fleuves ou de la mer et rejet d'eau légèrement échauffée ;

— circuit fermé, c'est-à-dire, utilisation d'un volume d'eau sensiblement constant (perte de 0,5 m³/s par réfrigérant), refroidie par l'utilisation d'un réfrigérant atmosphérique.

I — GÉNÉRALITÉS SUR LES RÉFRIGÉRANTS ATMOSPHÉRIQUES

Le principe d'un réfrigérant atmosphérique est simple : l'eau chaude tombe en pluie à travers un courant d'air créé par l'aspiration d'une cheminée de hauteur variable, se refroidit et retourne ainsi au condenseur.

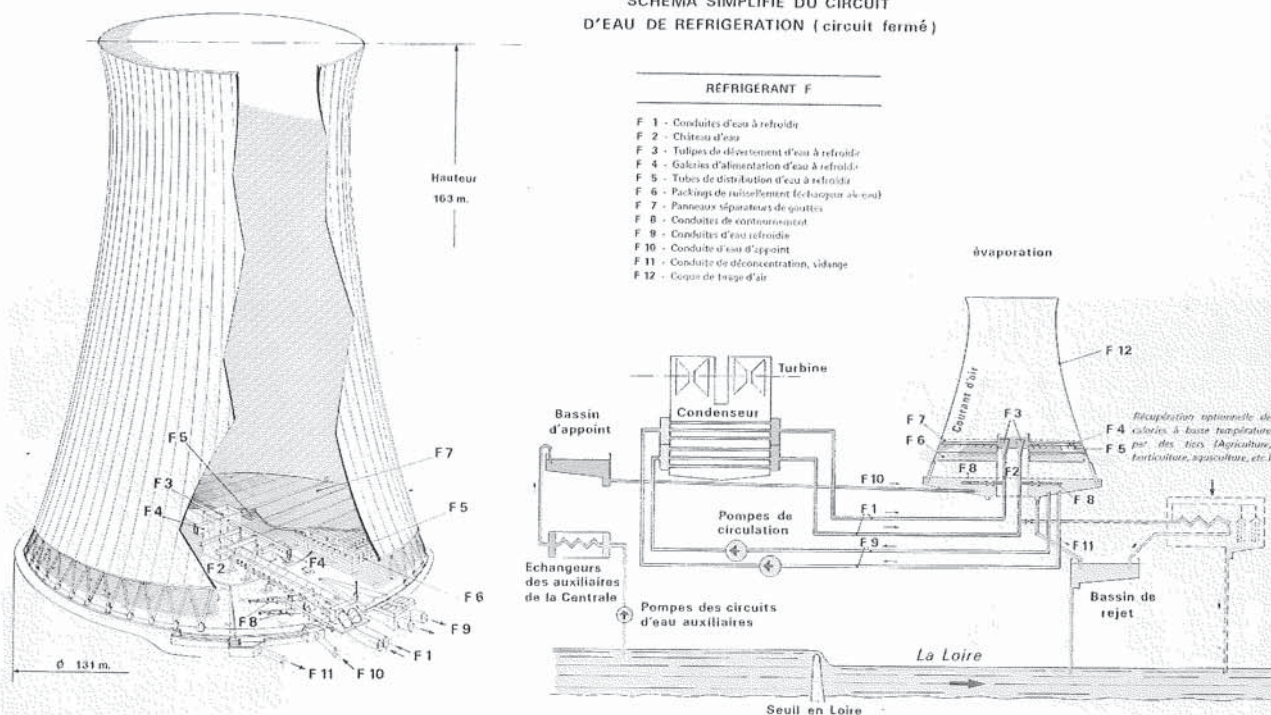
Trois principaux types de réfrigérants existent actuellement :

— type HAMON à tirage naturel (figure 1), dans lequel l'eau chaude est répartie directement dans la cheminée et dont la hauteur varie de 100 à 165 mètres, suivant les besoins ;

REFRIGÉRANT HAMON A TIRAGE NATUREL

- FIGURE 1 -

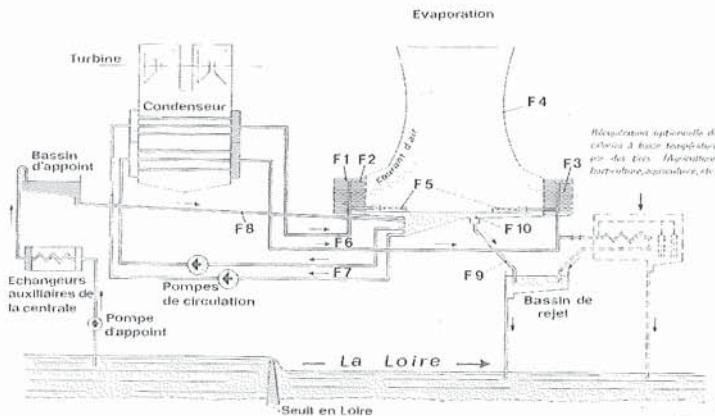
SCHEMA SIMPLIFIE DU CIRCUIT
D'EAU DE REFRIGERATION (circuit fermé)



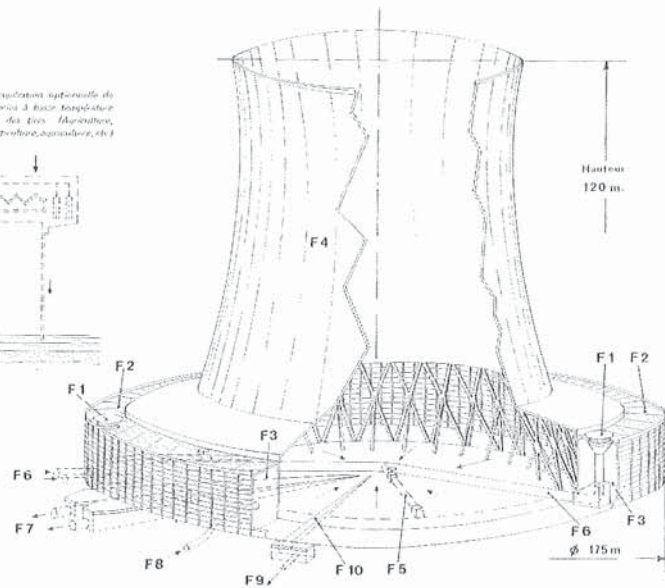
SCHEMA SIMPLIFIE DU CIRCUIT D'EAU DE REFRIGERATION (circuit fermé)

REFRIGERANT ATMOSPHERIQUE

- FIGURE 2 -



REFRIGÉRANT F	
F 1	Tuyaux de débouchement d'eau chaude
F 2	Distribution d'eau chaude
F 3	Echangeur air-eau
F 4	Coque de tirage d'air du réfrigérant
F 5	Contournement de démarrage
F 6	Conduites d'eau chaude
F 7	Conduites d'eau froide
F 8	Conduite d'eau d'appoint
F 9	Conduite de déconcentration
F 10	Caniveau de vidange



REFRIGERANT ATMOSPHERIQUE A TIRAGE INDUIT

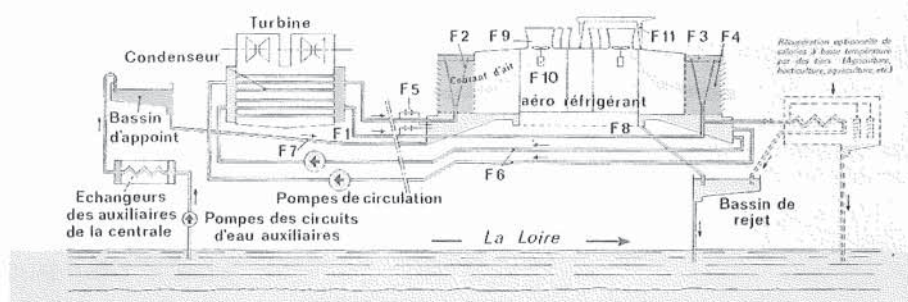
- FIGURE 3 -

COTES PRINCIPALES

- O à la base de la margelle	155,30 m
- hauteur totale du réfrigérant hors sol	29,00 m
- hauteur du plan d'eau de dispersion	20,80 m
- profondeur de la dispersion	1,00 m
- O extérieur de la dispersion	157,30 m
- O intérieur de la dispersion	132,90 m
- O du diffuseur au niveau du ventilateur	12,50 m
- hauteur du diffuseur	9,40 m

SCHEMA SIMPLIFIE DU CIRCUIT D'EAU DE REFRIGERATION (circuit fermé)

Condensation



REFRIGÉRANT F

F 1	Conduites d'eau chaude
F 2	Tuyaux de débouchement d'eau chaude
F 3	Distribution d'eau chaude
F 4	Dispersion (échangeur air-eau)
F 5	Ouvrages de contournement
F 6	Conduites d'eau froide
F 7	Conduite d'eau d'appoint
F 8	Conduite de déconcentration - Vidange
F 9	Diffuseur d'air
F 10	Ventilateur de tirage d'air
F 11	Poste de manutention
F 12	Trémières d'accès du matériel
F 13	Accès camion et personnel
F 14	Fût central

— type SCAM, à tirage réduit (figure 3), dans lequel la cheminée est remplacée par une série de souffleries. Ces réfrigérants sont surtout utilisés pour des raisons d'insertion dans le paysage.

— type SCAM, à tirage naturel (figure 2), dans lequel l'eau chaude tombe en pluie à l'extérieur de la cheminée. La hauteur plus faible est compensée par un plus grand diamètre de la cheminée ;

II — PRINCIPES RETENUS POUR L'AUSCULTATION DES RÉFRIGÉRANTS ATMOSPHÉRIQUES

Pour permettre à l'air froid de s'engouffrer dans la cheminée ou les souffleries, la base des réfrigérants est constituée de poteaux s'appuyant sur le sol par l'intermédiaire de dés de béton, de semelles ou de pieux. Les poteaux sont reliés entre eux, au sommet, par un linteau qui sert de base d'appui à la coque.

Enfin la coque, constituée d'un voile mince (20 cm en moyenne), de forme paraboloidique, est ceinturée à son sommet par un anneau raidisseur.

L'auscultation topographique de tels ouvrages s'avère nécessaire, non seulement pour des raisons de sécurité mais pour des raisons économiques évidentes. Tout arrêt de la réfrigération provoque l'arrêt de la Centrale.

Les parties auscultées sont les suivantes (figure 4) :

- semelle d'appui,
- pied des poteaux support,
- poteaux de la dispersion,
- coque.

Par ailleurs, quelques mesures ont été réalisées pour connaître l'effet du vent et de l'ensoleillement sur ces structures.

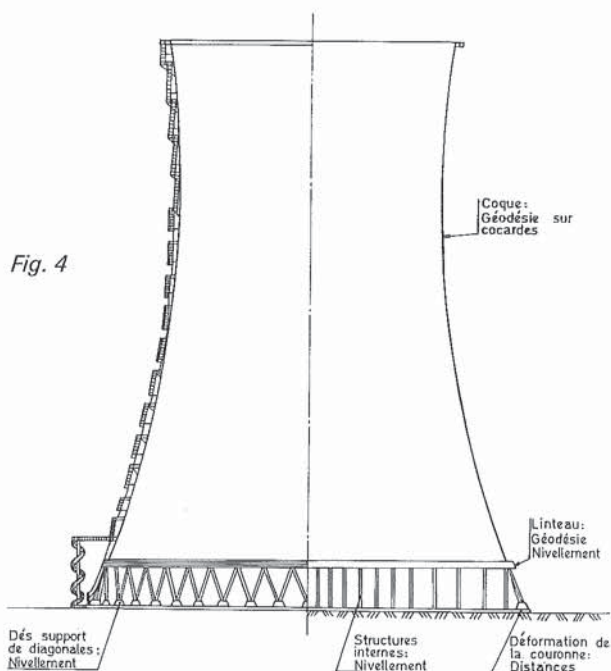


Fig. 4

III — AUSCULTATION DE LA SEMELLE

Les poteaux étant inclinés à 88 grades par rapport à l'horizontale, la composante horizontale de l'appui de la coque peut provoquer une ovalisation de la semelle en certains points.

Pour s'assurer de cette valeur, on utilise la mesure périodique de divers rayons, à partir du centre du réfrigérant.

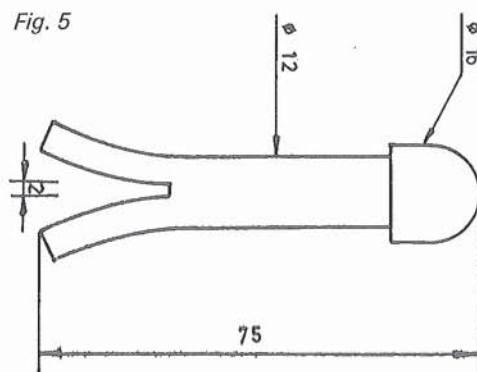
Les mesures sont effectuées au distancemètre MA 100, avec une précision de 1 mm.

IV — AUSCULTATION DES PIEDS DE POTEAUX, SUPPORTS DE COQUE

Tout enfoncement d'un poteau supportant la coque (malgré l'effet raidisseur du linteau), provoque des mouvements et des déformations dans la coque. Dès lors, on conçoit l'importance d'une auscultation altimétrique des poteaux.

Chaque pied de poteau est équipé d'un rivet de nivellement (figure 5). Le nivellement est effectué

Fig. 5



mensuellement pendant la construction, trimestriellement après ; il est réalisé au niveau NA2 Wild et mire d'industrie. La référence est constituée par un pieu fixe dont nous parlerons ultérieurement.

La précision du 1/10 mm n'est certes pas nécessaire en absolu : cependant, pour un suivi dans le temps, d'un poteau par rapport à l'autre, cette indication est précieuse, tout mouvement s'amorçant toujours lentement.

V — AUSCULTATION DES POTEAUX DE LA DISPERSION

La dispersion de l'eau chaude sur la surface de refroidissement, s'effectue à travers une série de grilles et de filtres supportés par des poteaux verticaux. Un nivellement direct est impossible en fonctionnement, étant donné le volume d'eau qui tombe : c'est pourquoi nous utilisons des mires, fixées à demeure sur ces poteaux.

Ces mires sont constituées par des lames en matière plastique, gravées tous les centimètres (figure 6). Un choix judicieux de la position des stations de nivellement permet de répondre au vieux principe de l'égalité des coups arrière et avant.

L'ensemble des points de nivellement auscultés (poteaux, supports et dispersions), est résumé dans les figures suivantes :

- type HAMON à tirage naturel (figure 7),
- type SCAM à tirage naturel (figure 8),
- type SCAM à tirage induit (figure 9).

VI — AUSCULTATION DU LINTEAU ET DE LA COQUE

VI. 1 — DISPOSITIF

Le linteau et la coque sont équipés de cocardes en lave émaillée (figure 10). La répartition des cocardes est faite comme suit :

- 32 cocardes sur le linteau (répartition régulière tous les 12,5 grades ;
- 20 à 30 niveaux de cocardes sur la coupe, chaque niveau comportant 16 cocardes (répartition régulière tous les 25 grades). Ce dispositif crée

Fig. 6



donc un maillage sur la coque, de 6 m en hauteur par 20 m environ sur un arc.

- 52 cocardes sur le dernier niveau (raidisseur supérieur).

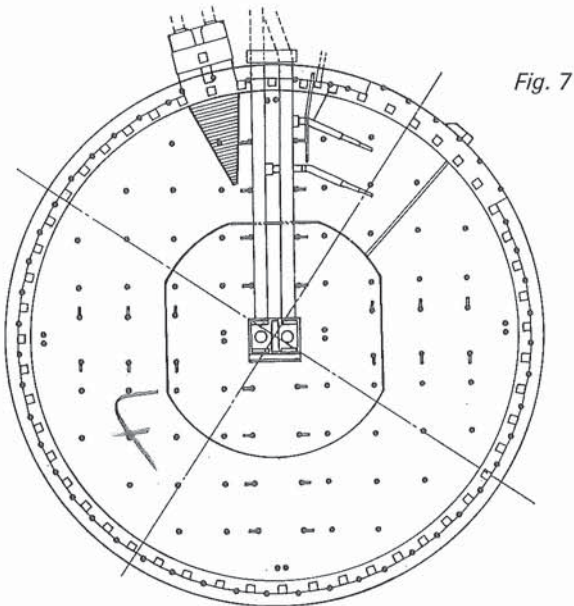


Fig. 7

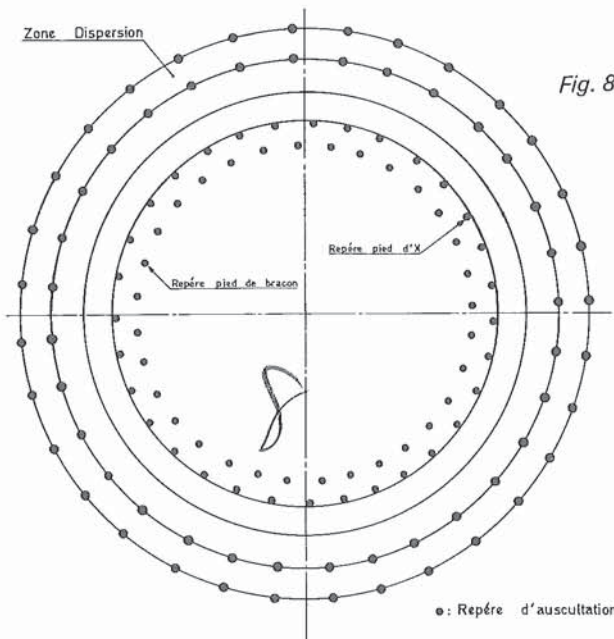


Fig. 8

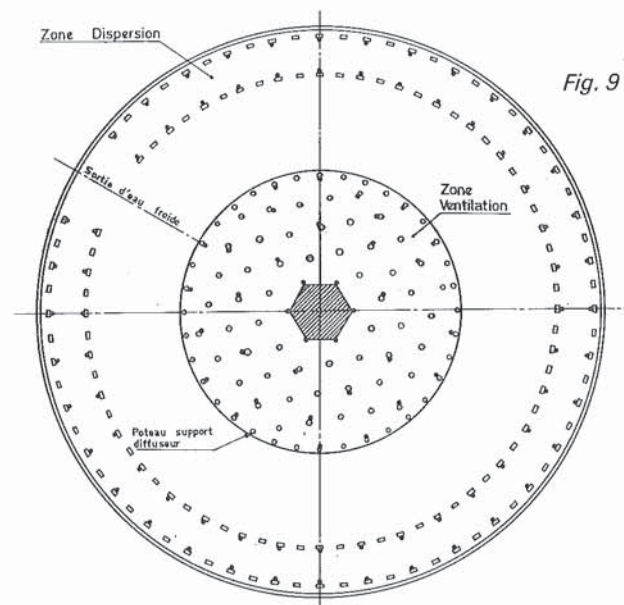


Fig. 9

Pour un réfrigérant de 165 mètres de haut, ceci entraîne la mise en place d'environ 400 cocardes. A l'intérieur du maillage ainsi créé, des déformations peuvent intervenir. C'est pourquoi un état zéro photogrammétrique est également réalisé, celui-ci permettant éventuellement d'observer d'autres points naturels (bouchon des trous de coffrages par exemple), si l'auscultation des cocardes révélait des anomalies en certains points (voir § 6.6).

VI. 2 — CANEVAS D'AUSCULTATION

Le problème est donc d'obtenir l'ensemble de ces cocardes à partir d'un canevas de piliers et de comparer les coordonnées X, Y et Z d'une opération quelconque aux coordonnées origine (l'origine est fixée à la fin de la construction du réfrigérant).

Le processus est comparable à l'auscultation d'un barrage avec quelques difficultés supplémentaires :

- la hauteur de la tour implique de s'éloigner si l'on ne veut pas avoir des visées zénithales trop fortes ;
- il est impossible d'utiliser plusieurs niveaux de piliers, le sol étant généralement plat autour du réfrigérant ;
- la forme convexe de la tour oblige à multiplier le nombre des piliers pour obtenir au moins 3 intersections par cocarde ;
- la gêne que constituent les autres bâtiments de la Centrale, oblige à créer un réseau d'observation qui n'a plus la forme idéale souhaitée.

Les cocardes étant disposées suivant 16 méridiens, l'idéal serait un réseau de 16 piliers, régulièrement répartis à une distance égale à la hauteur du réfrigérant ; mais, compte tenu de ce qui précède, cette-

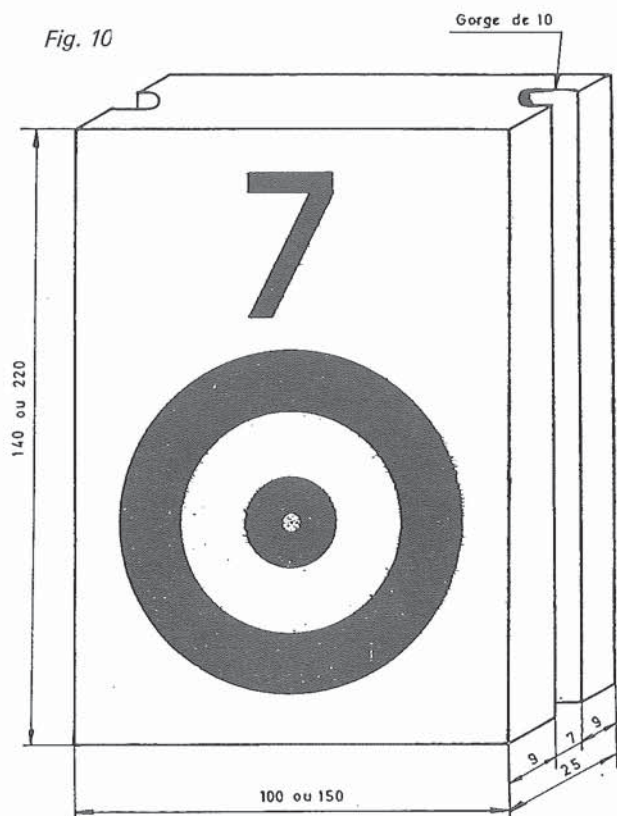
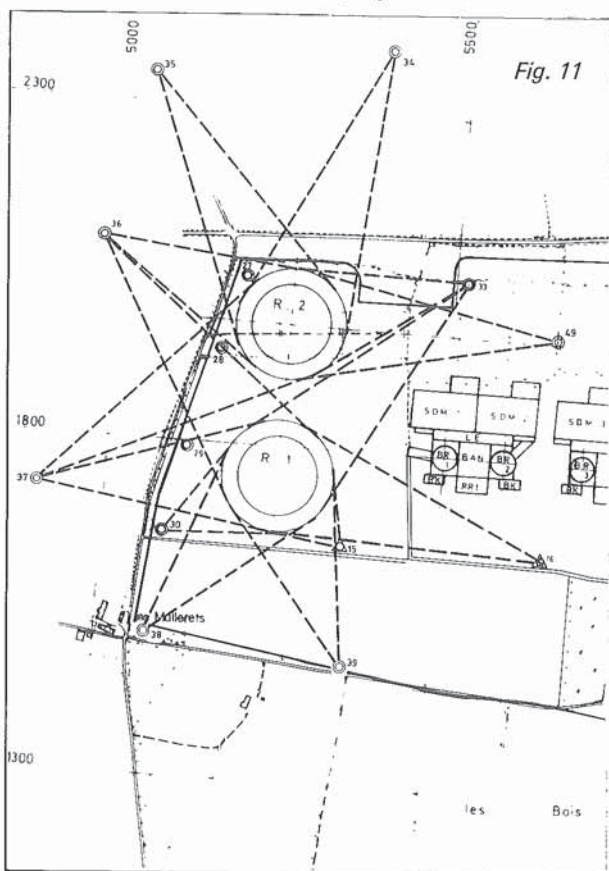


Fig. 10

forme canonique fait place à un canevas qui répond au mieux au problème posé (voir canevas pour DAMPIERRE-EN-BURLY 1-2, figure 11).



VI. 3 — OBSERVATION DU RÉSEAU

Le réseau est considéré, à priori, comme mobile et observé à chaque opération. La base fixe est constituée de 3 pieux (figure 12) qui traversent la couche alluvionnaire pour se ficher dans une couche dure. On peut épiloguer sur la stabilité de tels pieux, mais l'expérience montre qu'ils sont stables dans un rayon de 2 mm (il est d'ailleurs difficile de distinguer les mouvements éventuels des erreurs de mesures). Le réseau de piliers (figure 13) est donc redéterminé à chaque opération par le processus classique de triangulation, trilatération ou polygonalement de précision. Les instruments utilisés sont le T3 Wild et le Distancemètre MA 100. On peut estimer l'erreur résiduelle sur les coordonnées de ces piliers à 2 ou 3 mm en X et Y et 1 mm en Z.

VI. 4 — OBSERVATION DES COCARDES

Chaque cocarde est déterminée par intersections, avec zénithales, au théodolite Wild T3. L'opération demande une semaine de travail, à 4 personnes, pour un réfrigérant moyen. L'ellipse d'erreur planimétrique et le rayon moyen d'indécision altimétrique montrent que l'erreur résiduelle varie de 3 mm (au pied de la coque), à 8 mm (en haut de la coque). Ceci est suffisant pour une observation de tels ouvrages.

VI. 5 — CALCULS

Toutes les observations sont entrées en ordinateur et le dépouillement s'effectue automatiquement à partir du fichier origine. Pour l'instant, quelques mouvements de l'ordre de 5 cm ont pu être observés.

Fig. 12

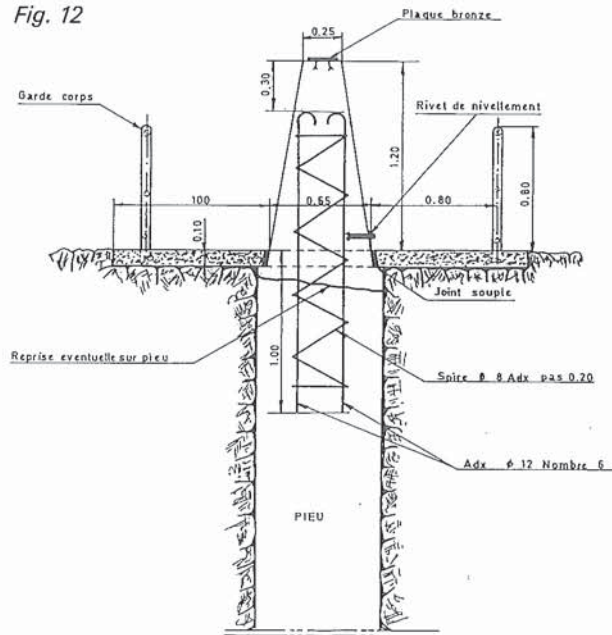
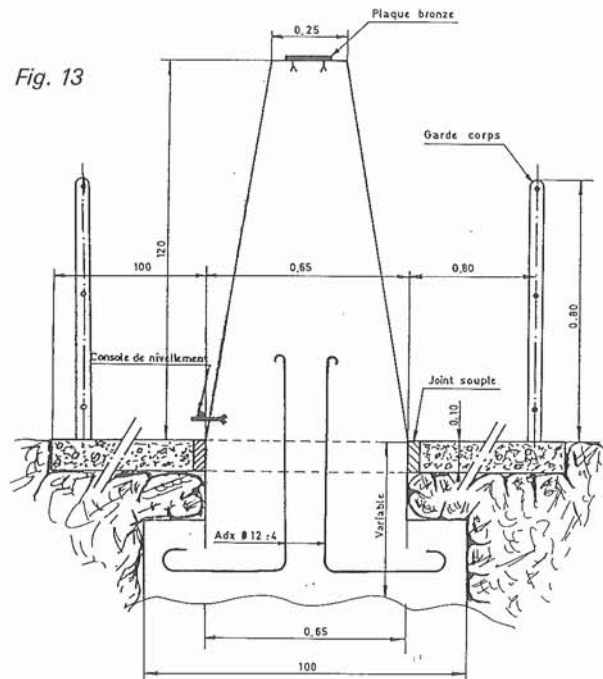


Fig. 13



VI. 6 — PHOTOGRAMMÉTRIE ORIGINE DE LA COQUE

Parallèlement, un état zéro photogrammétrique est réalisé pour chaque réfrigérant. Il permettra des comparaisons plus fines dans les zones entre cocardes. Voir à ce sujet l'exposé de M. BLAUSTEIN.

Toutefois, on notera que la détermination de quelques cocardes sert de point de calage à la photogrammétrique et c'est pourquoi les 2 opérations sont réalisées simultanément. Les cocardes n'ayant pas servi au calage sont déterminées photogrammétriquement en X, Y, Z, ce qui constitue un excellent contrôle.

On trouvera en annexe l'histogramme des écarts entre les deux méthodes (figures 14, 15, 16 et 17).

VI. 7 — EFFETS DU VENT

Le vent provoque une ovalisation des parties supérieures du réfrigérant. Pour vérifier cette hypothèse, deux réflecteurs ont été placés au sommet de la tour, dans 2 directions perpendiculaires et une mesure de distance "origine" réalisée. Pour l'instant, sous un vent de 40 km/h, la déformation est de l'ordre de 1,5 cm (voir figures 18 et 19). L'expérience pourrait être reconduite pour des réfrigérants soumis à des vents plus forts (vallée du Rhône par exemple).

VI. 8 — EFFETS THERMIQUES

On peut imaginer que la partie sud du réfrigérant, soumise à un fort ensoleillement, subisse des déformations dues à la dilatation du béton. Pour cela, nous avons observé, en juin 1978, quelques cocar-des, le même jour à 6 h et 13 h. Les écarts observés,

emq obtenue sur dx = 3,9 mm
emq contractuelle sur dx = 14 mm

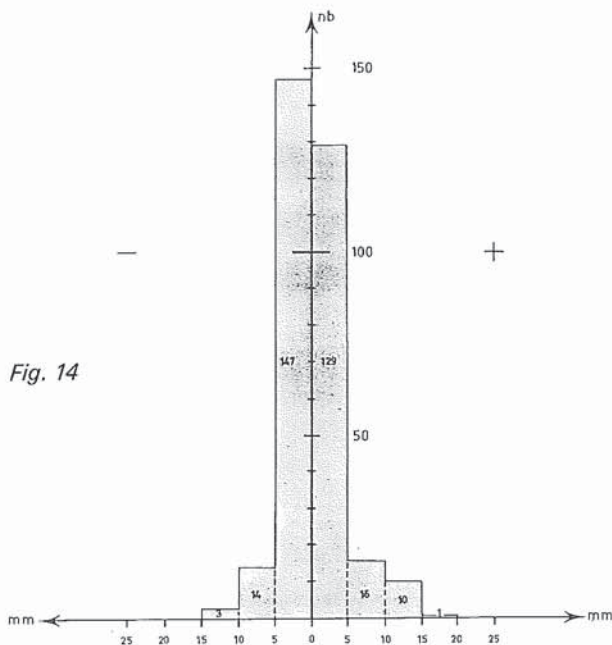


Fig. 14

emq obtenue sur dy = 3,5 mm
emq contractuelle sur dy = 14 mm

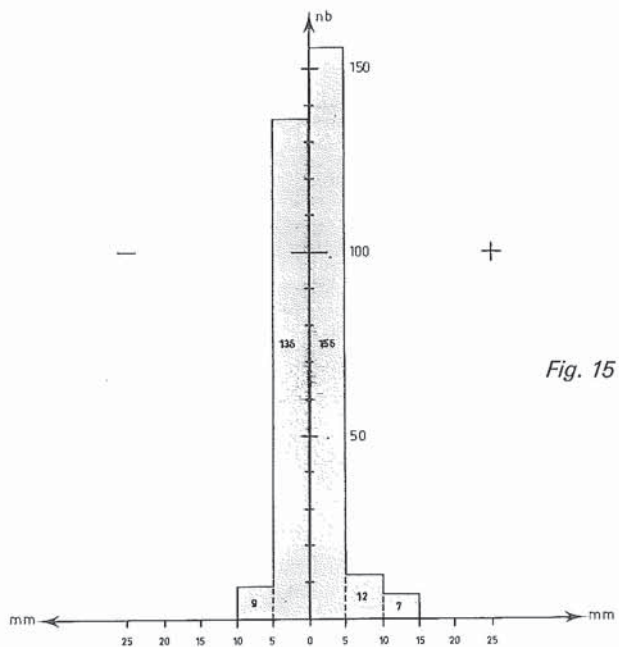


Fig. 15

Fig. 17

NIVEAUX	Emq dx m/m	Emq dy m/m	Emq dz m/m
48,6 et 54,3	3,0	3,2	2,2
60,0 et 65,8	2,9	3,0	3,8
71,6 et 77,3	2,4	1,8	2,6
83,2 et 88,9	3,1	2,5	2,7
94,8 et 100,6	2,6	3,2	3,8
106,6 et 112,5	6,1	4,0	7,0
118,3 et 124,3	5,2	4,0	6,9
130,3 et 136,3	4,3	3,6	8
142,3 et 148,3	4	3,8	7,5
154,3 et 157,9	3,6	5,1	9,9

Fig. 19

DATE	VENT INTENSITE DIRECTION	TEMP. °C.	DIFFERENCES OBSERVEES EN CM					
			PRISME S.E.			PRISME S.O.		
			Δ x	Δ y	Δ z	Δ x	Δ y	Δ z
26.06.78	nul	20°C		M E S U R E		O R I G I N E		
11.07.78	10 km/h N.O.	25°	+ 2	+ 2	+ 0,5	- 1	+ 1	+ 1
01.09.78	20 km/h S.O.	21°	+ 2	+ 1	- 1	+0,5	0	-0,5
14.12.78	40 km/h N.E.	9°	+ 1	+ 1	- 2	- 1	+ 1	- 3
13.02.79	40 km/h N.E.	8°	+1,5	-0,5	- 3	0	+ 1	- 3
16.03.79	40 km/h N.E.	6°	+ 1	0	- 3	+ 1	+ 1,5	- 1

emq obtenue sur dz = 6 mm

emq contractuelle sur dz = 14 mm

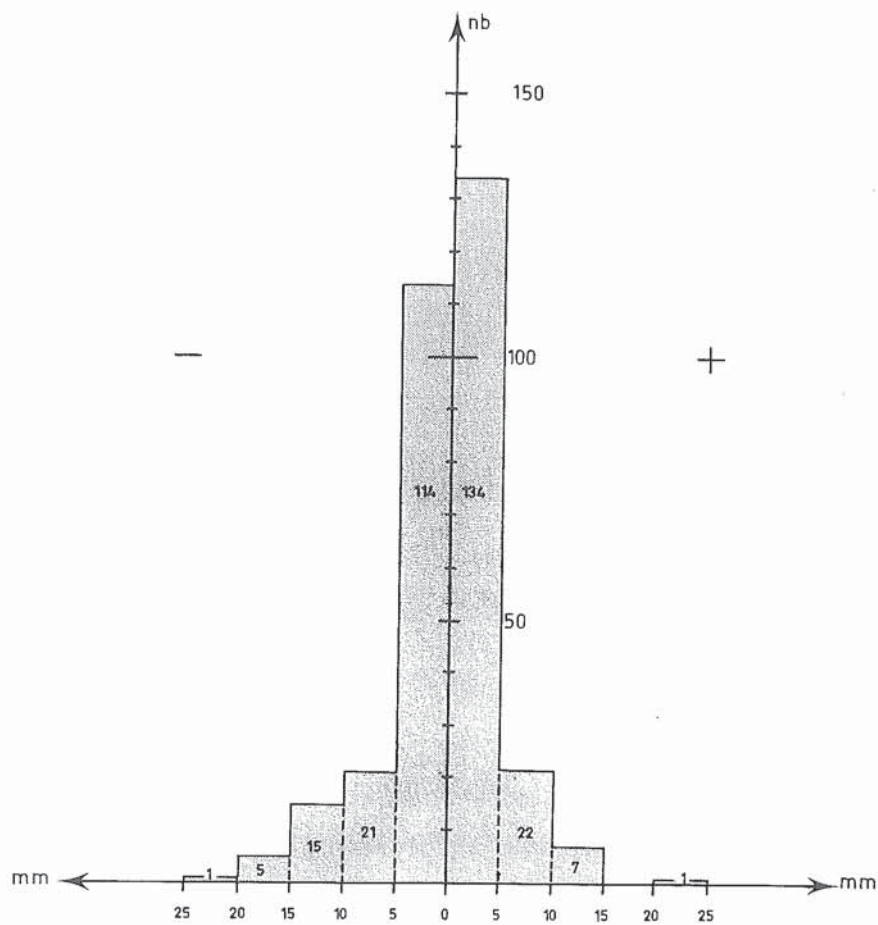
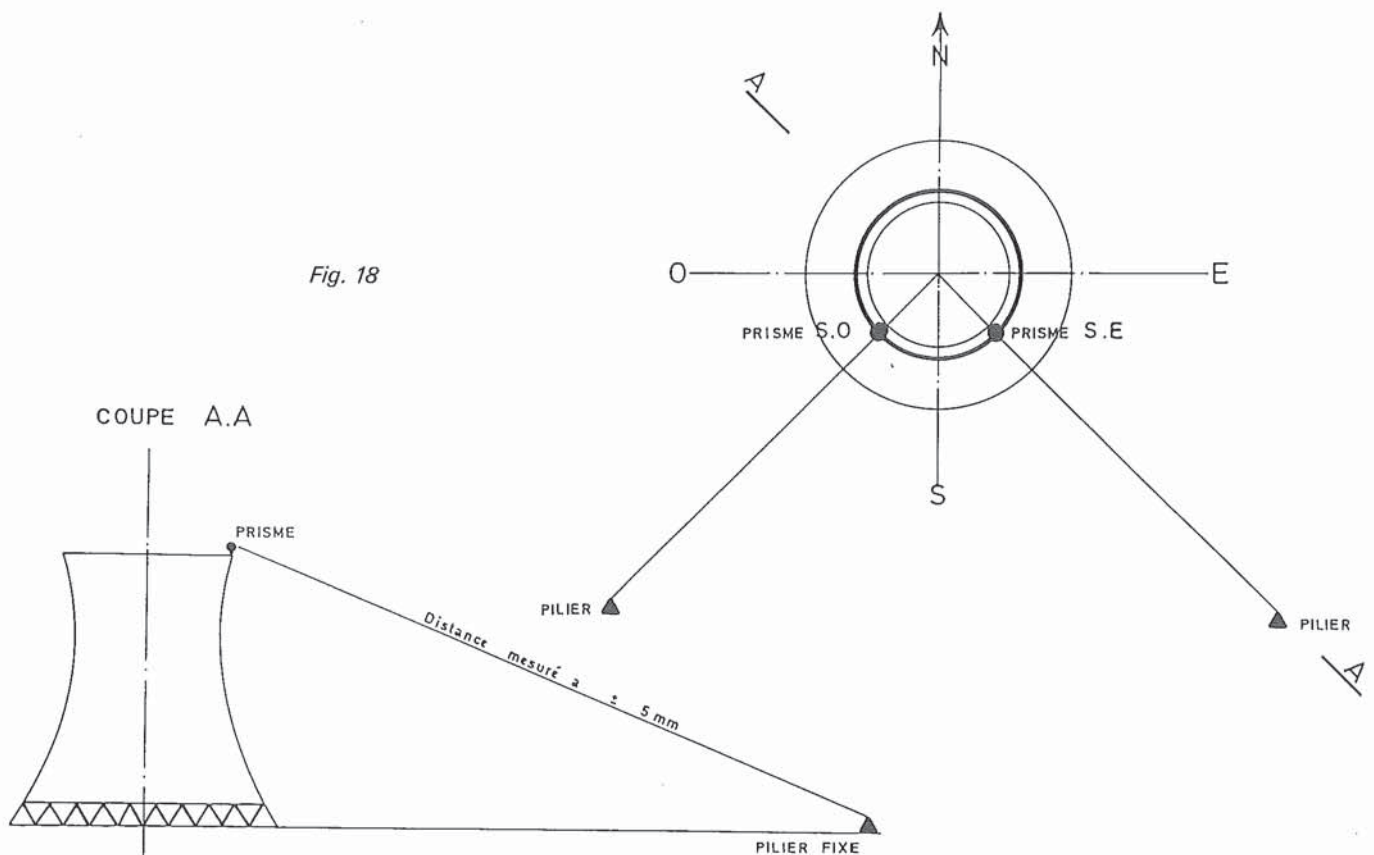


Fig. 16

Fig. 18



A LA CONQUÊTE D'UNE NOUVELLE FRONTIÈRE DANS LES MESURES DE MICRO-DÉFORMATIONS

par Jean GERVAISE

Abstract

The Terrameter is a bi-wavelength EDM instrument that has been tested under varying meteorological conditions. The system, exploiting the dispersive character of the air, can determine the measured distance to better than 1 part in 10^7 , without the usual need for meteorological observations and corrections. The Terrameter simultaneously measured the optical path lengths at two wavelengths (red, 638.8 nm and blue, 441.6 nm). With an internal micro-computer, the correct baseline distance is computed, eliminating the first order effects of temperature, pressure and relative humidity fluctuations along the measured line. The instrument is designed to a precision of better than 0.1 mm.

The Applied Geodesy for LEP is taken as an example for the comparison of the results obtained with different types of instruments. The error ellipses are worked out for simulation of the adjustment of the LEP network achieved with a Terrameter, a Hewlett-Packard 3808 A, trilateration only, a Hewlett-Packard 3808 A and a Theodolite T3, trilateration and triangulation, a Geodolite alone, trilateration, a Geodolite and a Theodolite T3, trilateration and triangulation.

These results show that the Terrameter is superior to other available distance measuring instruments in accuracy and has the advantage of a considerable reduction in time for the measurements.

I. GÉNÉRALITÉS

La mesure de distance par procédé optique est basée sur la connaissance de la vitesse de la lumière dans l'atmosphère. Dans les instruments électromagnétiques de mesure de distance (EDM), la limite principale de la précision des mesures vient du fait que la vitesse moyenne de propagation est mal con-

nue. Cette incertitude est due à l'inhomogénéité et aux turbulences de l'atmosphère qui entraînent des variations de l'indice de réfraction le long du chemin de propagation. La distance mesurée ou "longueur du chemin optique" est fonction de la distance vraie et de l'indice de réfraction.

$$R = \int_0^D n dx$$

R = longueur du chemin optique,

D = distance vraie,

n = indice optique de réfraction.

Dans les instruments conventionnels qui utilisent la modulation de la lumière pour mesurer les distances, comme le géodimètre développé par Bergstrand en 1950, la précision est limitée par la connaissance de l'indice de réfraction le long du chemin optique au moment de la mesure. Dans de nombreuses applications, seules les déterminations des paramètres météorologiques sont effectuées au point de station. Ceci implique des conditions atmosphériques uniformes entre le point de station et le point visé ou de courtes distances. Pour de longues portées ou des précisions supérieures, de l'ordre de 1.10^{-7} , l'intégration des variations de l'indice le long du chemin optique doit être réalisée. Une solution consiste à faire voler un avion porteur d'instruments au-dessus du chemin de propagation afin de déterminer les paramètres météorologiques au moment de la mesure. D'autres consistent à placer des instruments de saisie des données le long du chemin optique ou d'utiliser des moyennes établies sur de longues périodes pour atténuer les fluctuations météorologiques. Ces méthodes peuvent donner de bons résultats lorsque les conditions atmosphériques sont favorables. Les mesures rapides et de très grande précision nécessitent une mesure directe de l'indice moyen de réfraction sur le chemin optique au lieu d'une approximation.

Dans les instruments EDM conventionnel utilisant une seule modulation de l'onde porteuse, la distance est donnée par :

$$D = (K + k) c/2nf$$

K = nombre des entiers,

k = nombre fractionnaire des demi-longueurs d'onde,

c = vitesse de la lumière dans le vide,

f = fréquence de modulation,

n = indice de groupe de réfraction de l'air, déterminé au moment de la mesure de distance.

La précision de la mesure est limitée par celle de la détermination de la valeur moyenne de n sur le chemin optique. Sur de courtes distances, il n'est pas difficile de déterminer la température et la pression avec des précisions suffisantes. Pour de grandes distances et sur des distances plus longues, la détermination de l'indice moyen de réfraction devient très difficile à cause de la sensibilité de l'indice n aux paramètres météorologiques, de l'ordre de $1 \cdot 10^{-6}$ par degré Celsius pour la température et $3 \cdot 10^{-7}$ par millibar de pression atmosphérique.

Une méthode de mesure précise a été proposée par Prilepin (1957) et indépendamment par Bender & Owens (1965). Elle est basée sur les caractéristiques de dispersion de l'air dans la région visible du spectre. Du fait de cette dispersion, deux signaux de longueurs d'onde différentes se propagent sur le chemin à des vitesses différentes. En mesurant la différence des vitesses moyennes sur le chemin optique, les effets de l'atmosphère peuvent être éliminés de la mesure de distance entre deux points.

La longueur du chemin optique s'exprime par :

$$R = \langle n \rangle L = L + S$$

où $\langle n \rangle$ = valeur moyenne de l'indice de groupe de réfraction

S = contribution de la longueur additionnelle apparente due à l'indice de réfraction de l'air.

$$S = \int_0^L (n - 1) dx$$

Pour deux longueurs d'onde, une dans le rouge et l'autre dans le bleu, la différence des chemins optiques est :

$$\Delta S = S_B - S_R$$

que l'on peut écrire :

$$\Delta S = \int_0^L (1/A_R) (n_R - 1) dx$$

avec

$$A_R = \frac{n_R - 1}{n_B - n_R}$$

A_R étant indépendant de la densité atmosphérique type et dépendant assez peu de la composition de l'atmosphère, Owen (1967) obtient en première approximation :

$$S_R = \langle A_R \rangle S$$

Finalement,

$$L = R_R - S_R$$

où

$$L = R_R - \langle A_R \rangle (R_B - R_R)$$

La distance vraie peut être ainsi déterminée en mesurant les chemins optiques R_B et R_R du même

chemin de propagation et évite l'effet de l'atmosphère sur la mesure optique.

II. LE TERRAMÈTRE

Contrairement aux instruments de mesure qui utilisent une approximation de l'indice de réfraction de l'air à partir d'échantillons de température, de pression et de vapeur d'eau, le Terramètre (fig. 1 & 2) fait une mesure directe et précise de l'indice de réfraction simultanément grâce aux mesures de la distance avec deux longueurs d'ondes optiques, une dans le

Fig. 1

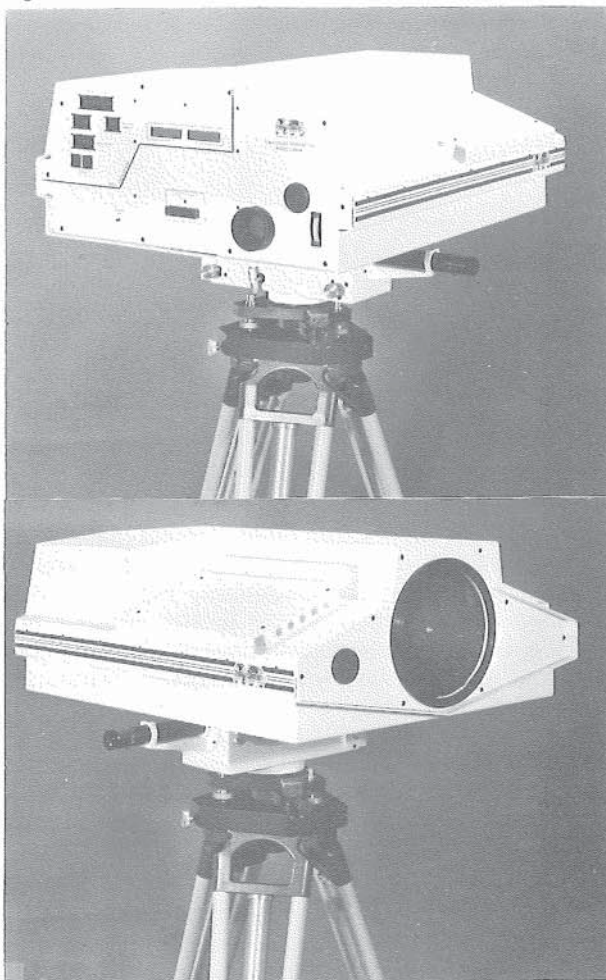


Fig. 2

rouge et l'autre dans le bleu. L'instrument calcule les termes correctifs à partir de la différence de la longueur du chemin optique entre les deux longueurs d'onde et calcule la vraie distance. Ceci élimine automatiquement les effets du premier ordre de la température, de la pression de l'air et de la vapeur d'eau (Earnshaw & Hernandez (1972), Hernandez (1972), Huggett (1974), Huggett & Slater (1975), Hernandez & Earnshaw (1976)).

La méthode de mesure est la même que celle de l'expérience Fizeau pour la mesure de la vitesse de la lumière. Dans cette expérience, la lumière renvoyée par un rétro-rélecteur éloigné revient sur le photo-détecteur si une liaison temporelle et spatiale précise existe entre le faisceau lumineux aller et retour. La lumière est reçue par le détecteur uniquement si le temps de transit de celle-ci est exactement égal à un nombre entier de périodes de modulation. La techni-