

**Zeitschrift:** Ingénieurs et architectes suisses

**Band:** 106 (1980)

**Heft:** 23

**Artikel:** Campagne de mesures de la basse couche atmosphérique sur le Léman

**Autor:** Prost, Jean-Patrick / Perrinjaquet, Claude / Béguin, Philippe

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-73993>

#### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 10.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Campagne de mesures de la basse couche atmosphérique sur le Léman

par Jean-Patrick Prost, Claude Perrinjaquet et Philippe Béguin, Lausanne

Cet article décrit le programme de mesures synoptiques de la basse couche atmosphérique, mis en place autour du Petit Lac (Léman) pour étudier les phénomènes aéro- et hydrodynamiques à l'interface air-eau, pour des épisodes de vent de sud-ouest, auxquels correspondent, pour le Petit Lac, les fetchs maxima (c'est-à-dire les longueurs de contact air-eau dans la direction du vent les plus longues).

L'interface entre la basse couche atmosphérique et le plan d'eau est le siège d'échanges énergétiques complexes liés à de nombreux processus physiques turbulents: d'une part le rayonnement solaire, les phénomènes de conduction-convection et le transfert de masse (évaporation), d'autre part, *l'action mécanique du vent*. Cette action du vent sur le plan d'eau est primordiale puisqu'elle génère les *ondes* (vagues) donnant à la surface «sa rugosité apparente» et qu'elle induit les *courants de surface* qui en «pénétrant» en profondeur communiquent l'énergie du vent aux couches inférieures.

Une étude préliminaire du frottement aérodynamique à l'interface air-eau, à partir de quelques mesures de paramètres atmosphériques simples, a permis de comparer nos observations avec celles de la littérature (on trouvera les résultats dans [3]<sup>1</sup>, a et b). C'est à partir de ces premiers résultats que le programme expérimental a été élaboré et mis en place au cours de l'année 1979, dans le but de poursuivre l'étude du coefficient de frottement au moyen de mesures *in situ* plus complètes de natures diverses (mesures moyennes et turbulentes) et en cherchant l'influence éventuelle de certains phénomènes particuliers (effet du fetch, «état» de la rugosité du plan d'eau, «passé» du champ de vagues).

Cet article donne tout d'abord une description des installations expérimentales puis fait l'inventaire de l'équipement et des instruments nécessaires. La troisième partie est consacrée aux systèmes d'acquisition de données, l'accent étant essentiellement mis sur celui de la plate-forme fixe de Chanivaz. Enfin, le dernier paragraphe décrit les étapes successives de l'édition des données et présente quelques résultats obtenus.

<sup>1</sup> Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

## 1. Les installations expérimentales

### 1.1 Situation générale des installations expérimentales

Sur la carte du Léman de la figure 1 sont indiqués les emplacements des différents sites expérimentaux disséminés sur le littoral de la partie occidentale du Léman. On distingue:

- les *installations expérimentales littorales nouvelles*: avec d'une part la plate-forme fixe «offshore» de Chanivaz (Vaud), élément principal de ce réseau de mesures, et d'autre part, les 2 stations anémométriques «terrestres» de Bellerive (Genève) et de la pointe de Messery (France).
- les *installations météorologiques terrestres existantes*: avec le Centre météorologique de Cointrin (CMC) et le Centre de recherches agronomiques de Changins (CRA).

Chaque site expérimental, quoique intégré entièrement ou en partie dans le réseau de mesures synoptiques du projet, a une importance différente, tant du point de vue du nombre de paramètres mesurés que de l'infrastructure matérielle nécessaire. Dans les paragraphes qui vont suivre, nous mettrons l'accent sur l'infrastructure que nous avons nous-mêmes mise en place, en insistant plus particulièrement sur la plate-forme de Chanivaz qui représente l'essentiel des moyens matériels et techniques mis en œuvre pour ce programme de recherche.

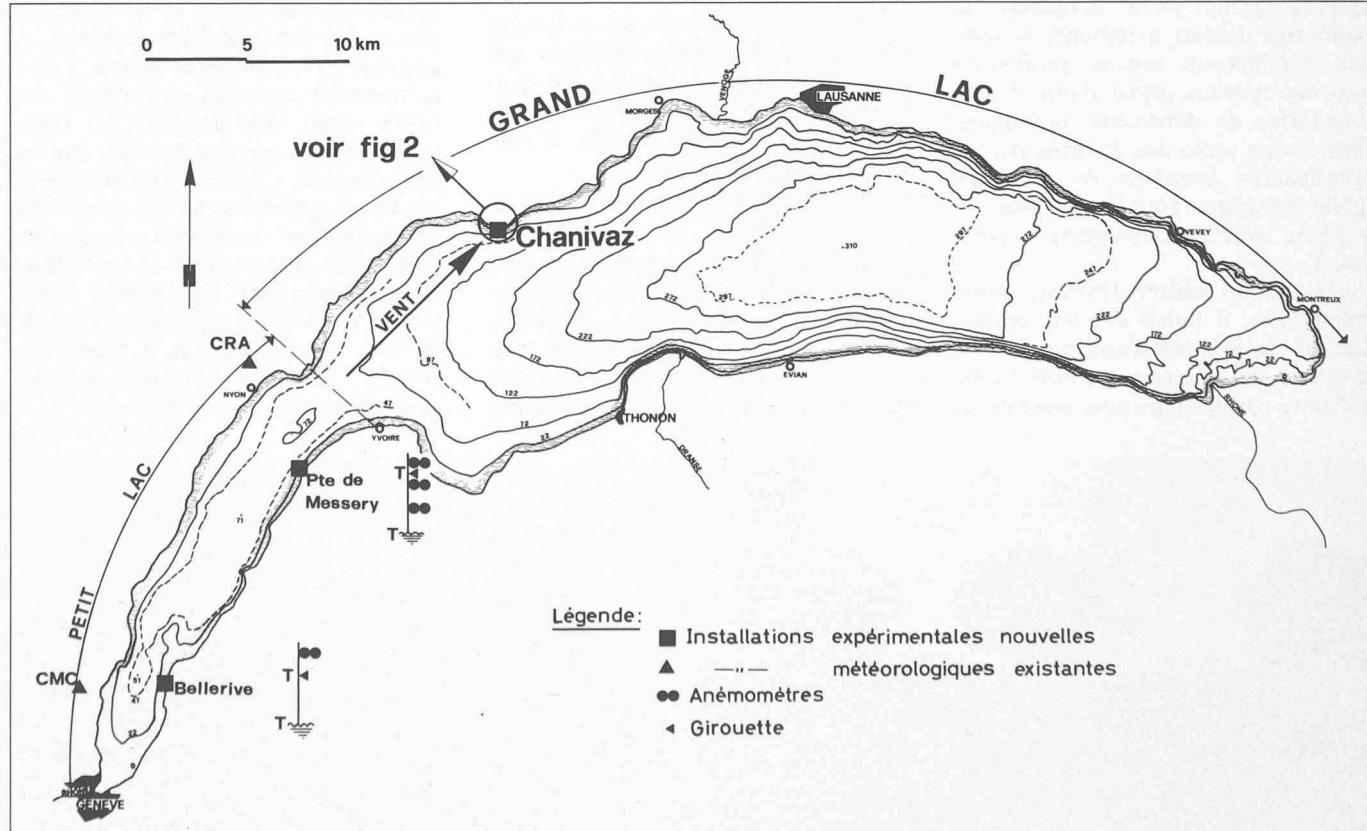


Fig. 1. — Situation des installations expérimentales; réseau de mesures synoptiques.

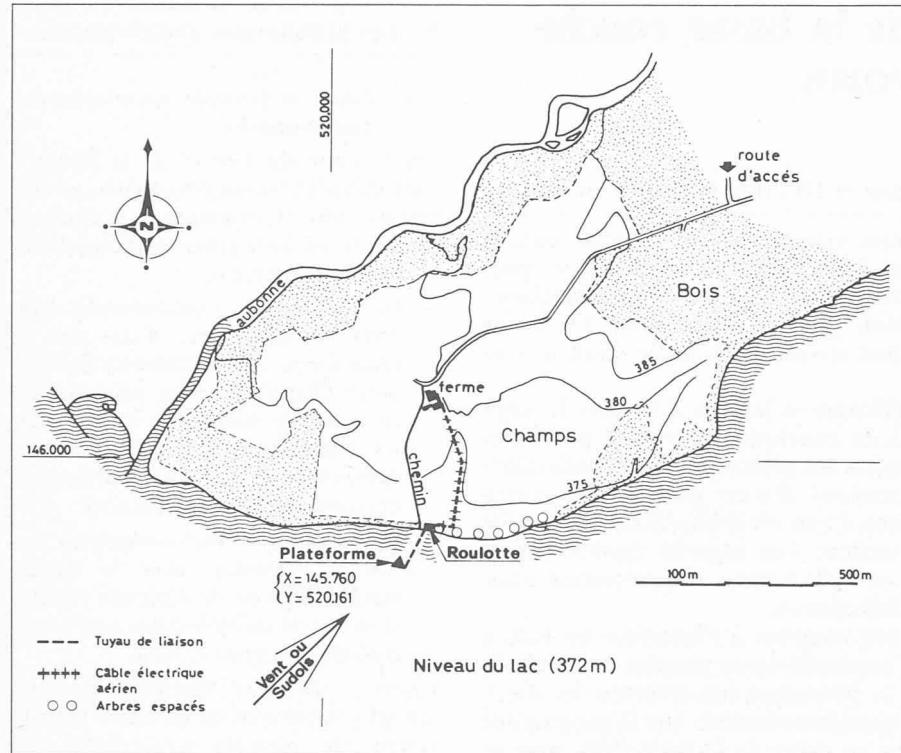


Fig. 2. — Plan du site expérimental de Chanivaz.

## 1.2 La plate-forme fixe de Chanivaz

### 1.2.1 Choix de principe

Etant donné les buts recherchés dans cette étude et afin d'éviter au maximum l'influence de la topographie des côtes et des fonds lacustres sur les mesures du champ de vagues et de courants, il eût été souhaitable de pouvoir effectuer les mesures à partir d'un site le plus éloigné possible des rives. Cependant ce choix aurait entraîné des problèmes techniques et légaux sinon insolubles du moins très délicats à résoudre et d'un coût certainement hors de proportion avec nos moyens (achat d'une bouée-plate-forme de dimension importante, transmission radio des données, permis d'occupation prolongé du domaine public, protection pour la navigation et la pêche avec dédommagement éventuel...).

L'idée d'une station flottante étant abandonnée, il fallait dès lors rechercher un site propice, d'une part proche de la rive afin d'ancrer une plate-forme et d'autre part localisé, pour des raisons

de commodités évidentes, sur la rive suisse du lac. Cependant, un certain nombre de facteurs restreignent le champ de cette recherche. Le mode d'ancrage adopté — plate-forme portée par des pieux — nous limite à des fonds de l'ordre de 5 ou 6 m au maximum. De plus, la côte suisse limite l'étude aux cas des vents du secteur sud, puisque seuls nous intéressent ceux dont le développement s'effectue sur la surface lacustre proprement dite. Enfin, la rive suisse du Haut Lac sera exclue de cette recherche, étant donné l'influence très forte que subissent les vents du secteur sud dans toute cette région de part la présence de rives escarpées et de massifs montagneux proches et élevés.

### 1.2.2 Choix et description du site de Chanivaz

Malgré les limitations mentionnées précédemment, les possibilités d'implantation d'une plate-forme fixe lacustre le long de la rive vaudoise à l'est de Lausanne demeurent nombreuses. Le choix du site définitif reste un compromis

entre les exigences parfois contradictoires du projet. Une étude comparative de plusieurs sites potentiels a permis dans un premier temps de limiter les investigations à la zone privilégiée formée par le delta de l'Aubonne. Le choix définitif s'est ensuite porté sur le site dit de Chanivaz, en face de la grande exploitation agricole du même nom. Ce site répond, en effet, aux principales exigences du projet:

- situation très privilégiée pour mesurer les vents dominants du sud-ouest avec un fetch maximum non déformé;
- «mont» lacustre relativement moins raide qu'alentour permettant dans les limites de profondeur admises, d'éloigner la plate-forme d'au moins 100 m de la rive; mais également constitution du sous-sol lacustre permettant le fonçage aisément des pieux et leur assurant une bonne tenue;
- terrain assez dégagé à l'arrière de la zone expérimentale côté sous le vent;
- site d'accès facile et à distance raisonnable de Lausanne;
- site encore assez «sauvage» loin des pollutions citadines avec pourtant une surveillance assurée depuis la ferme.

Ce site présente cependant certains désavantages dus d'abord à la présence de quelques gros arbres isolés sur la rive, ensuite à son isolement nécessitant la pose d'une ligne aérienne d'alimentation électrique et la création d'un abri pour tout l'équipement technique et électronique nécessaire. Quant aux autorisations des services publics, des propriétaires du terrain et des pêcheurs, elles ont été très facilement accordées.

Le plan et la photo des figures 2 et 3 montrent la situation générale du site retenu et les emplacements des différents éléments qui composent la station de mesures de Chanivaz. On constate la très bonne exposition du site au vent du sud-ouest (*Vent ou Sudois*) et le dégagement offert au nord/nord-est de la zone expérimentale par les champs transformés en jachères en hiver. La bande de bois longeant la rive à l'ouest du chemin est sans influence sur les mesures de *Vent* à la plate-forme.

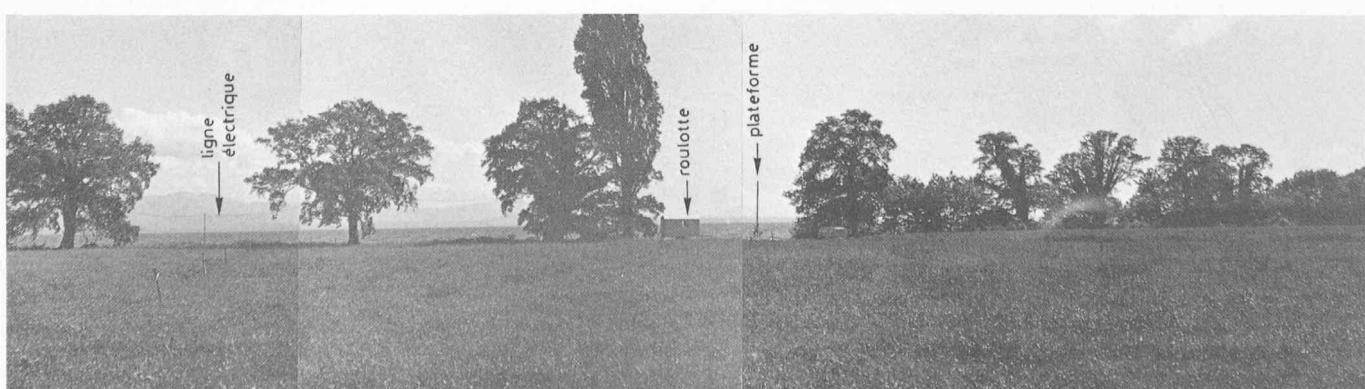


Fig. 3. — Le site de Chanivaz vu de la ferme (S/S-O).

Quant aux quelques gros arbres espacés bordant la rive à l'est du chemin, ils ne devraient pas ou peu influencer les mesures de *Vent* à la plate-forme, située «dans le vent» à une distance de plus de 100 m des plus proches obstacles, soit environ quatre à cinq fois la hauteur des grands arbres. La roulotte qui abrite tout l'équipement électronique et le matériel technique a été placée le plus près possible de la rive au bout du chemin d'accès de façon à limiter au maximum les longueurs des câbles de connexion entre les instruments de mesures et les appareils d'enregistrement et faciliter l'observation du mât au cours des expériences. La description de cette plate-forme et des mesures effectuées est donnée au paragraphe 2.1.

### 1.3 Les stations anémométriques

Le but de ces stations est de mesurer le vent le long d'un axe Genève-Chanivaz (fig. 1) correspondant approximativement au fetch maximum pour le *Vent* mesuré à Chanivaz. Avec deux stations, l'une en début de fetch, l'autre à mi-distance entre Genève et Chanivaz, les mesures synoptiques obtenues devraient permettre d'observer le développement de la couche limite atmosphérique associée à l'interface air-eau lors des périodes de *Vent*. Cette couche limite prenant naissance dans la rade de Genève est au départ fortement influencée par les effets d'ilôt de chaleur et de rugosité particulière dus à l'agglomération genevoise. Le site expérimental doit donc être éloigné de quelques kilomètres de cette agglomération et sur la rive sud du lac afin de n'être placé pour le *Vent* que dans des conditions lacustres (c'est-à-dire que les vents mesurés à la station «viennent uniquement du lac»). Le site retenu, indiqué à la figure 1, est le débarcadère de Bellerive qui est distant d'environ 6 km de Genève et s'avance dans le lac sur 50 m environ. A mi-distance, le choix s'est porté sur le débarcadère de la Pointe de Messery (France), de 70 m de long environ. Cet emplacement (fig. 1) est distant à vol d'oiseau de 15 km de la plate-forme de Chanivaz et de 12,5 km de la station de Bellerive. La description de ces stations anémométriques est donnée au paragraphe 2.3.

### 1.4 Les autres sites expérimentaux

En dehors des trois installations littorales décrites précédemment, deux sites de mesures météorologiques nous permettront de compléter nos informations synoptiques. Il s'agit du Centre météorologique de Cointrin (CMC) et du Centre de recherches agronomiques de Changins (CRA), tous les deux situés à environ 60 mètres au-dessus du niveau moyen du lac (372 m/mer). Malgré les écarts vraisemblables que l'on observera entre les mesures des installations littorales et celles de ces stations terrestres (surtout pour les intensités et directions des vents), les données recueillies seront utilisées comme valeurs de référence et à des fins statistiques. Quant aux paramètres météorologiques ainsi disponibles (pression atmosphérique, humidité de l'air, etc.), ils seront d'utilles renseignements puisqu'à part leurs mesures limitées à Chanivaz, ce sont les seules à disposition dans la région du Petit Lac.

mât au moyen de bras plus ou moins longs suivant l'instrument. Pour les niveaux inférieurs trois petits mâts soudés sur les bords de la plate-forme permettent d'éloigner les instruments fixés à des bras également plus longs afin d'éliminer l'influence de la plaque et des raidisseurs sur les mesures. Une structure métallique soudée sur la plate-forme selon son axe ouest, supporte la sonde de vagues dont la position verticale peut être réglée (v. fig. 6). Le courantomètre est fixé à 1,5 m sous la surface de l'eau à un câble d'acier lesté sur le fond et suspendu à un profilé métallique, de 2 m de long, boulonné sur la plate-forme. Les boîtes de connexion assurant l'interface entre les instruments et les câbles de transmission au système d'acquisition des données sont fixés au mât dans sa partie inférieure. Une échelle escamotable en aluminium, s'accrochant à l'échelle métallique soudée au mât dans sa partie supérieure, permet l'accès à tous les instruments jusqu'au sommet, où une poulie monte-chage est installée. Une petite échelle soudée à la plate-forme permet d'y monter et d'y amarrer une petite embarcation. Enfin, des feux de signalisations sont installés, l'un clignotant au sommet du mât, les trois autres continus sur chacun des pieux. La construction de la structure métallique, le fonçage des pieux et la mise en place de la plate-forme et du mât ont été réalisés par l'entreprise Sagrave SA, avec qui nous avons déjà travaillé sur le Léman.

Les études liées aux interactions entre l'eau et l'atmosphère nécessitent des équipements et instruments complexes pour mesurer simultanément, les paramètres caractéristiques de la couche de surface atmosphérique, des ondes de surface du plan d'eau, enfin de la couche de surface lacustre. Pour répondre à tous ces objectifs la station expérimentale de Chanivaz se compose des éléments suivants (fig. 2):

- une *plate-forme fixe*, support du mât de mesures météorologiques fines, d'une sonde de vagues et d'un courantomètre;
- une *roulotte* abritant le système d'acquisition des données, décrit au paragraphe 3.2.

#### 2.1.1 La plate-forme

Les schémas de la figure 4 et les photos des figures 5 et 6 montrent la plate-forme et son mât entièrement équipés. Cette plate-forme est une plaque triangulaire en acier, renforcée sur les bords et portée par 3 pieux métalliques cylindriques fichés sur des fonds de 368,8 m/mer (pieux et plate-forme sont entièrement recouverts d'une peinture anticorrosive). Le niveau de la plate-forme est réglé à 373,3 m, soit 1 m au-dessus du niveau des hautes eaux (372,3 m). Dans ces conditions, à la période des basses eaux de la fin de l'hiver (371,7 m) la plate-forme dominera la surface du lac de 1,6 m, son niveau moyen oscillant autour de 372 m. La disposition des pieux et l'orientation de la plaque ont été choisies de façon à aligner un des côtés de la plate-forme avec la direction nord-sud, le sommet opposé indiquant l'ouest. Le mât, d'une hauteur de 12 m, est un tube métallique à inertie variable de 0,2 m de diamètre à la base et 0,1 m au sommet, encastré dans un manchon métallique renforcé par trois raidisseurs, le tout soudé à la plaque de base. Les instruments de mesures météorologiques, décrits plus loin de façon détaillée, sont disposés suivant les schémas de la figure 4. Ceux des niveaux supérieurs (au-dessus de la cote 3,5 m) sont fixés au

- la *traînée du vent*, au moyen de deux méthodes, celle du «profil du vent» à partir des vitesses moyennes à plusieurs niveaux et celle du «flux turbulent» à partir des corrélations entre les fluctuations du vent à un niveau;
- la *stabilité atmosphérique*, par mesure des gradients de température;
- le *gradient maximum d'humidité*;
- les *caractéristiques des ondes de la surface d'eau*;
- les *caractéristiques indicatives du courant lacustre*.

Après de nombreuses investigations auprès des marchés spécialisés et avec l'aide des conseils avisés des météorologues de la station aérologique de Payerne, nous avons choisi les instruments suivants:

- 4 *anémomètres à coupelles* (An), de résolution 21,3 cm, mesurent les vitesses moyennes du vent sur 10 min. à 1,9 m, 3,5 m, 6,5 m et 12 m au-dessus du plan d'eau (chaque niveau correspond à la moyenne géométrique des deux niveaux adjacents).

— 1 anémomètre avec girouette (An + Gi), Schiltknecht (type 665-660), installé à 13 m, permet de connaître instantanément l'intensité et la direction du vent grâce au Windmaster-Mark II, appareil de lecture directe, installé dans la roulotte.

— 2 anémomètres cartésiens (NEZ: nord-est-zénith), dont les bras horizontaux ont été dirigés dans notre cas vers le sud et l'est, mesurent les 3 composantes du vent à une fréquence de 1 Hz. Ils sont fixés à 2,6 m, moyenne géométrique entre 1,9 m 3,5 m et 10 m, hauteur conventionnelle de référence. En plus des fluctuations du vent, cet instrument permet d'en connaître sa direction que l'on pourra comparer avec celle donnée par la girouette. Le doublement de cet instrument permettra également de vérifier l'hypothèse, généralement admise, du flux constant dans la couche limite atmosphérique. On trouvera un exemple de mesures fines de vent à l'aide de cet instrument dans [6].

— 4 sondes platine (T), Friedrichs Pt 500  $\Omega$ , mesurent les températures aux mêmes niveaux que ceux des anémomètres à coupelles. Elles sont placées dans des abris ventilés doubles en aluminium Friedrichs (type 3010.0) pour permettre éventuellement des contrôles avec un thermomètre à mercure.

1 sonde de même type, fixée à un petit flotteur attaché aux trois pieux de la plate-forme, mesure la température à la surface de l'eau.

— 2 sondes capacitatives (H), Humicap, Vaïsalà, mesurent l'humidité atmosphérique relative aux deux niveaux extrêmes 1,9 m et 12 m. Elles sont logées chacune dans un abri ventilé simple Friedrichs (type 2010.0).

— 1 albedomètre (Alb), Kip et Zonen, fixé à 5 m de la surface de l'eau, mesure le rayonnement solaire incident et réfléchi sur le lac.

— 1 sonde capacitive limnimétrique, de 10 mm de diamètre et 2,5 m de long, mesure les fluctuations du plan d'eau à la station. Elle a donné entière satisfaction au cours d'expériences effectuées récemment à Genève [2]. La sonde est protégée des impacts éventuels d'objets flottants par une cage circulaire de barreaux métalliques.

— 1 courantomètre, RCM4 Aanderaa, permet de mesurer le courant à la plate-forme simultanément aux autres mesures. Cet instrument, qui travaille sur le principe du rotor à hélice, mesure et enregistre sur bande magnétique, de façon autonome et automatique, direction et vitesse du courant au-dessus d'un

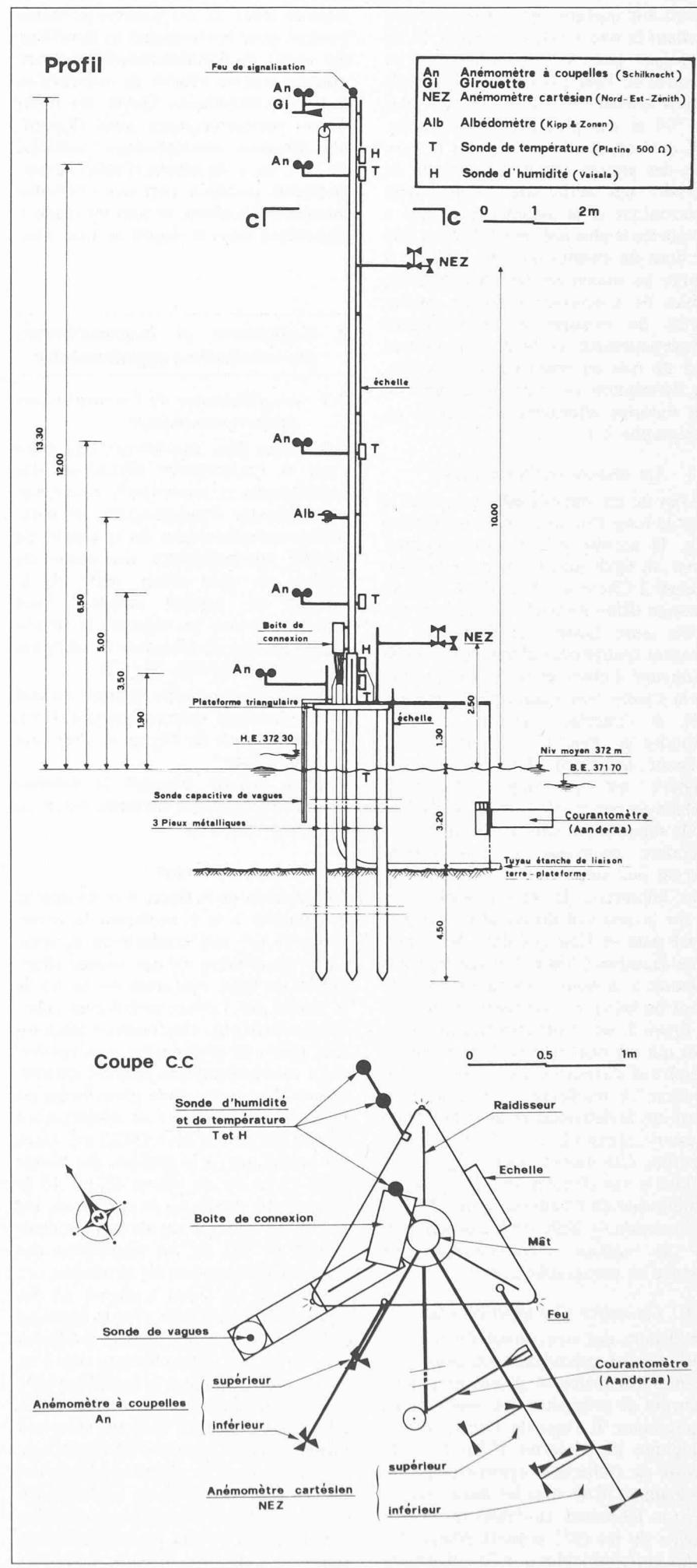


Fig. 4. — Plate-forme fixe de Chanivaz; profil et plan schématiques.

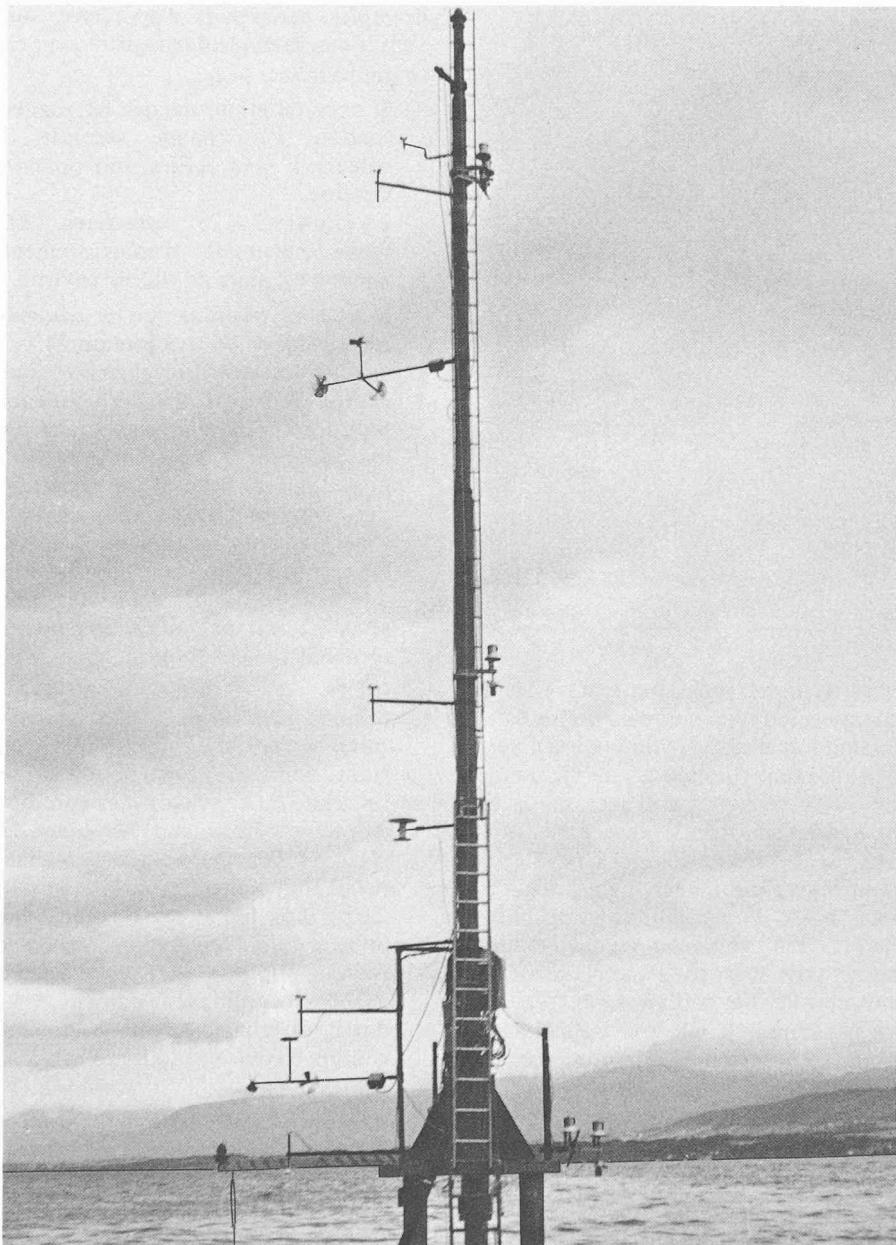


Fig. 5. — Vue de la plate-forme fixe de Chanivaz en direction de l'ouest/sud-ouest.

seuil de 2 cm/s, en même temps que profondeur et température de l'eau. Utilisé avec succès pour nos précédentes campagnes expérimentales sur le Léman, cet instrument est décrit de façon détaillée dans [5].

#### 2.1.2 La roulotte

La roulotte de chantier, garée près de la rive, abrite les équipements électroniques du système d'acquisition de données (fig. 7). Le tuyau de liaison, enterré sur les derniers mètres, conduit tous les câbles de connexion des instruments de la plate-forme à un tableau assurant l'interface avec le système d'acquisition (décrit au paragraphe 3.2). Cette roulotte, chauffée ou ventilée suivant les saisons, renferme également le matériel nécessaire à la maintenance des appareils de mesure et un bureau de travail. Son alimentation électrique (sans coupure) et celle nécessaire aux instruments et aux feux de signalisation est assurée par la ligne aérienne 220 volts tirée de la ferme jusqu'à la roulotte.

#### 2.2 Les stations anémométriques de Bellerive et Messery

Ces deux stations sont constituées chacune d'un mât cylindrique de 10 m de haut, fixé à l'extrémité des débarcadères de Bellerive pour l'un et de la pointe de Messery pour l'autre. Aux mâts sont fixés, à différents niveaux, les supports sur lesquels sont montés les instruments de mesures. Ces instruments ainsi que leur enregistreur automatique (Datalogger) sont, comme le courantomètre, des appareils Aanderaa dont on trouvera la description détaillée dans [5]. La station de Bellerive, opérationnelle depuis le 15 février 1980, est équipée:

- d'un anémomètre à coupelles (An), à 10 m au-dessus de la surface de l'eau, mesurant la vitesse moyenne du vent sur 10 min. et la pointe enregistrée pendant 2 secondes sur l'intervalle de 10 min.;
- d'une girouette (Gi), à 5 m, mesurant la direction instantanée chaque 10 min.;

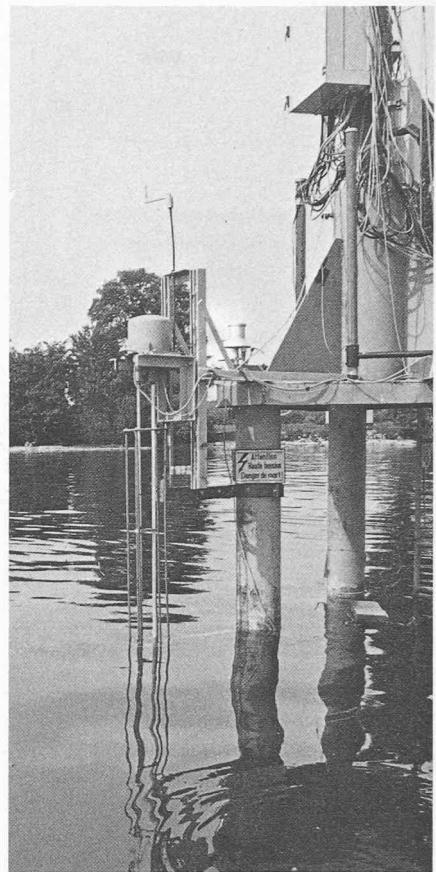


Fig. 6. — Détail de la sonde de vagues.

- d'une sonde de température (T) Pt 500  $\Omega$ , mesurant la température instantanée de l'air à 5 m au-dessus de la surface de l'eau.

La station de la pointe de Messery (fig. 8), opérationnelle depuis le 5 mars 1980, permet d'obtenir plus d'informations (surtout des profils de vent) puisqu'elle est équipée d'instruments identiques aux précédents mais plus nombreux:

- 3 anémomètres (An), mesurant vents moyens et pointes à 10 m, 4,8 m et 2,3 m au-dessus de la surface de l'eau;
- 1 girouette (Gi), à 10 m;
- 2 sondes de température (T), une pour celle de l'air à 10 m, l'autre pour celle de la surface de l'eau.

### 3. Acquisition des données

#### 3.1 Configuration générale du réseau de mesures synoptiques

La figure 9 donne le schéma du système d'acquisition des données mis en place dans le cadre du programme expérimental global décrit précédemment. Les mesures prises à la plate-forme — 24 paramètres au total — sont transmises par câbles au système d'acquisition Datac, décrit au paragraphe suivant. Les mesures courantométriques, ainsi que les mesures atmosphériques des stations anémométriques de Bellerive et de la pointe de Messery, sont enregistrées par les «datalogger» Aanderaa de manière autonome. Toutes ces données sont enregistrées sur des supports de même

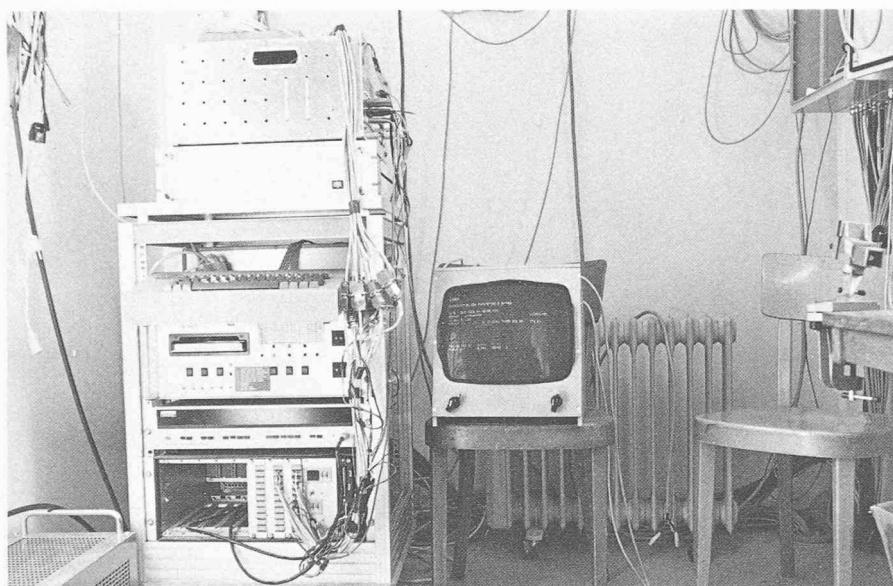


Fig. 7. — Vue intérieure de la roulotte avec l'équipement électronique du système d'acquisition de données.

type (cassettes magnétiques), les bandes Aanderaa après avoir été décodées. Quant aux mesures météorologiques des stations terrestres (CMC et CRA), elles nous sont transmises directement par les services intéressés et n'entrent dans le système global qu'au stade final de fichiers dans la banque de données.

### 3.2 Le système d'acquisition de données de la plate-forme fixe de Channivaz

La saisie des données était initialement prévue au moyen du système électronique *Adam I* (Alcyon-Equipment). Malgré les nombreux essais tentés durant l'été et l'automne 1979, ce système s'est révélé trop peu fiable pour être utilisé pour cette campagne expérimentale. Le Laboratoire d'hydraulique a donc adapté, pour les besoins spécifi-

ques de notre programme, un système d'acquisition qui avait déjà donné satisfaction lors d'essais hydrauliques divers. Mis au point pendant les derniers mois de 1979, ce système d'acquisition est opérationnel depuis décembre 1979. Son hardware se compose (v. fig. 7) d'un micro-ordinateur *Datac* (processeur Z 80), d'un multiplexeur Schlumberger, d'un voltmètre digital Schlumberger type Maestro, d'un enregistreur à cassettes Perifile et d'un écran.

Le programme (software) implanté sur le micro-ordinateur permet de prendre (fig. 10):

- avec la sonde capacitive, les hauteurs de vagues *V* à la fréquence de 5 Hz;
- avec les NEZ, les paramètres turbulents *F* à la fréquence de 1 Hz;
- avec les NEZ et anémomètres, les vitesses moyennes du vent *M* et avec les autres sondes tous les paramètres analogiques moyens *G* sur des cycles de 10 min.

Les différentes options *V*, *F*, *G* et *M* peuvent être prises séparément ou simultanément, mais quelle que soit celle choisie, le programme lit les paramètres *V*, *F* et *M*, alors que les paramètres *G* ne sont lus que si l'option *G* est explicitement demandée. Ce n'est donc qu'à l'écriture que les paramètres sortent selon l'option effectivement choisie sur le support désiré, soit sur cassette magnétique, soit sur écran. La conception d'un système d'acquisition régi par logiciel permet d'augmenter assez facilement le nombre de paramètres et de modifier dans certaines limites la fréquence de scrutation. La liste des paramètres mesurés à la plate-forme de Channivaz est donnée au tableau de la figure 10. Le volume de l'information écrite sur une piste de cassette magnétique, d'une capacité maximale d'environ 400 000 caractères, dépend des options choisies. Nous donnons ici quelques

exemples permettant d'apprécier, suivant le cas, la durée d'enregistrement en continu sur une piste:

- Si nous ne mesurons que les *vagues* (option *V*): chaque seconde 5 valeurs *V* sont écrites, soit pour le système:  

$$1 + (5 \times 4) + 2 = 23$$
 caractères. La durée maximale d'enregistrement continu est alors de 4 h. 50' environ.
- Si nous ne désirons que les *paramètres turbulents du vent* (option *F*): chaque seconde 10 valeurs *F* sont écrites, à savoir  $2 \times 3 = 6$  valeurs pour les 2 NEZ et 4 valeurs pour les anémomètres à coupelles. Ces dernières valeurs ne sont pas significatives mais sont prises pour des raisons pratiques propres au système. On obtient ainsi pour le système  $1 + (10 \times 6) + 2 = 63$  caractères par seconde, soit une durée maximum d'enregistrement continu d'environ 1 h. 45'.
- Si nous ne désirons que les *paramètres moyens* (option *M* et *G*): étant donné la capacité mémoire restreinte du système *Datac* (ordinateur 8 bits), les valeurs moyennes de NEZ et des anémomètres à coupelles sont écrites toutes les 100 sec. (soit 6 fois toutes les 10 min.). On obtient alors pour le système:  $6 \times 63 + 14(5+2) = 476$  caractères chaque 10 min., ce qui porte la durée maximale d'enregistrement continu à environ 5 jours 20 h.
- Enfin, si nous prenons les options *V*, *F*, *M* et *G ensemble*, la durée d'enregistrement n'est plus que de 1 h. 20' environ.

A part des études ponctuelles particulières nous travaillerons généralement en option *M* et *G* en y intercalant pendant certaines périodes les options *F* ou *V* afin d'obtenir des mesures détaillées complémentaires. Notons également que des périodes de mesures plus longues pourront être obtenues en décomptant seulement les temps très courts de rebobinage ou de changement de cassette pendant lesquels l'information sera bien sûr manquante.

### 3.3 Acquisition des données complémentaires

Comme nous l'avons déjà signalé, les mesures effectuées par les courantomètres et celles prises aux stations anémométriques de la Pointe de Messery et de Bellerive sont toutes enregistrées sous forme de signaux binaires sur bande magnétique de  $1/4''$ . Toutes ces bandes, écrites en code non standard sur des supports également non compatibles avec les installations à disposition, doivent être réenregistrées, en code standard, sur support compatible, à l'aide d'un Lecteur de bande Aanderaa et d'un enregistreur à cassettes Perifex. On trouvera le détail d'une pro-

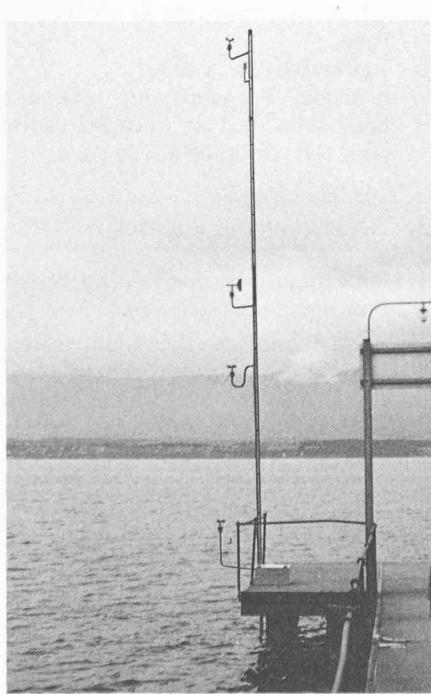
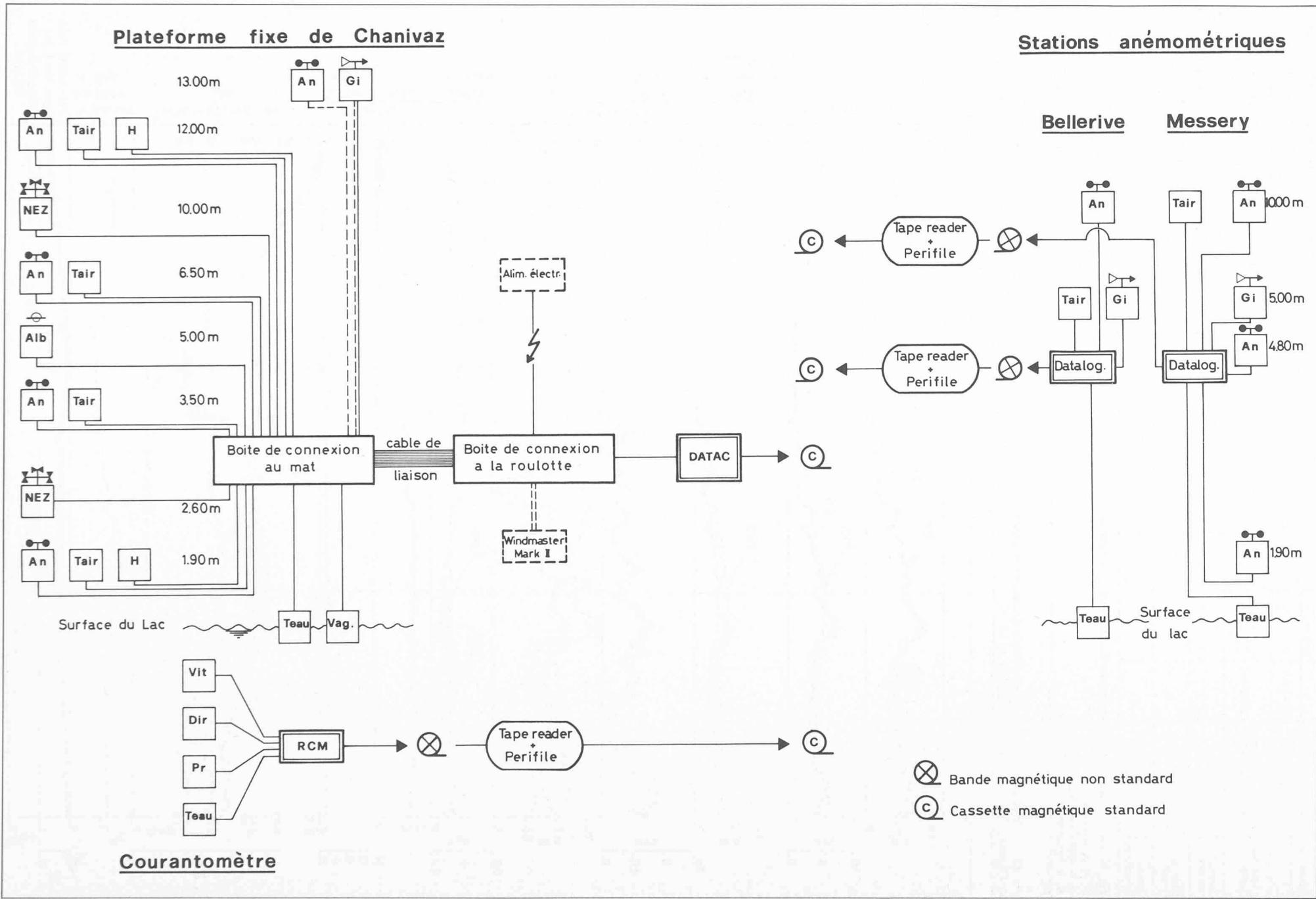


Fig. 8. — Station anémométrique de la pointe de Messery.

Fig. 9. — Schéma général du système d'acquisition des données du réseau de mesures synoptiques.



| Paramètres mesurés   | Vent                          |                        |           | Température       |                  | Humidité    | Rayonnement solaire | Vagues | Réserves   |         |
|----------------------|-------------------------------|------------------------|-----------|-------------------|------------------|-------------|---------------------|--------|------------|---------|
|                      | Vitesse Turbulente            | Vitesse Moyenne        | Direction | Air               | Eau              |             |                     |        | Résistance | Tension |
| Types des capteurs   | NEZ<br>anémomètre à coupelles | anémomètre à coupelles | girouette | sonde Platine 500 | sonde capacitive | albedomètre | sonde capacitive    | -      | -          | -       |
| Nombre de capteurs   | 2                             | 4                      | 1         | 4                 | 1                | 2           | 1                   | 1      | 1          | 2       |
| Type du signal       | D                             | D                      | $A_t$     | $A_r$             | $A_t$            | $A_t$       | $A_t$               | $A_r$  | $A_t$      |         |
| Nombre de paramètres | -                             | 10                     | 1         | 5                 | 2                | 2           | 1                   | 3      |            |         |

Fig. 10. — Liste des paramètres mesurés à la plate-forme de Chanivaz.

 $D$  = signal digital $A_t$  = signal analogique (tension) $A_r$  = signal analogique (résistance)

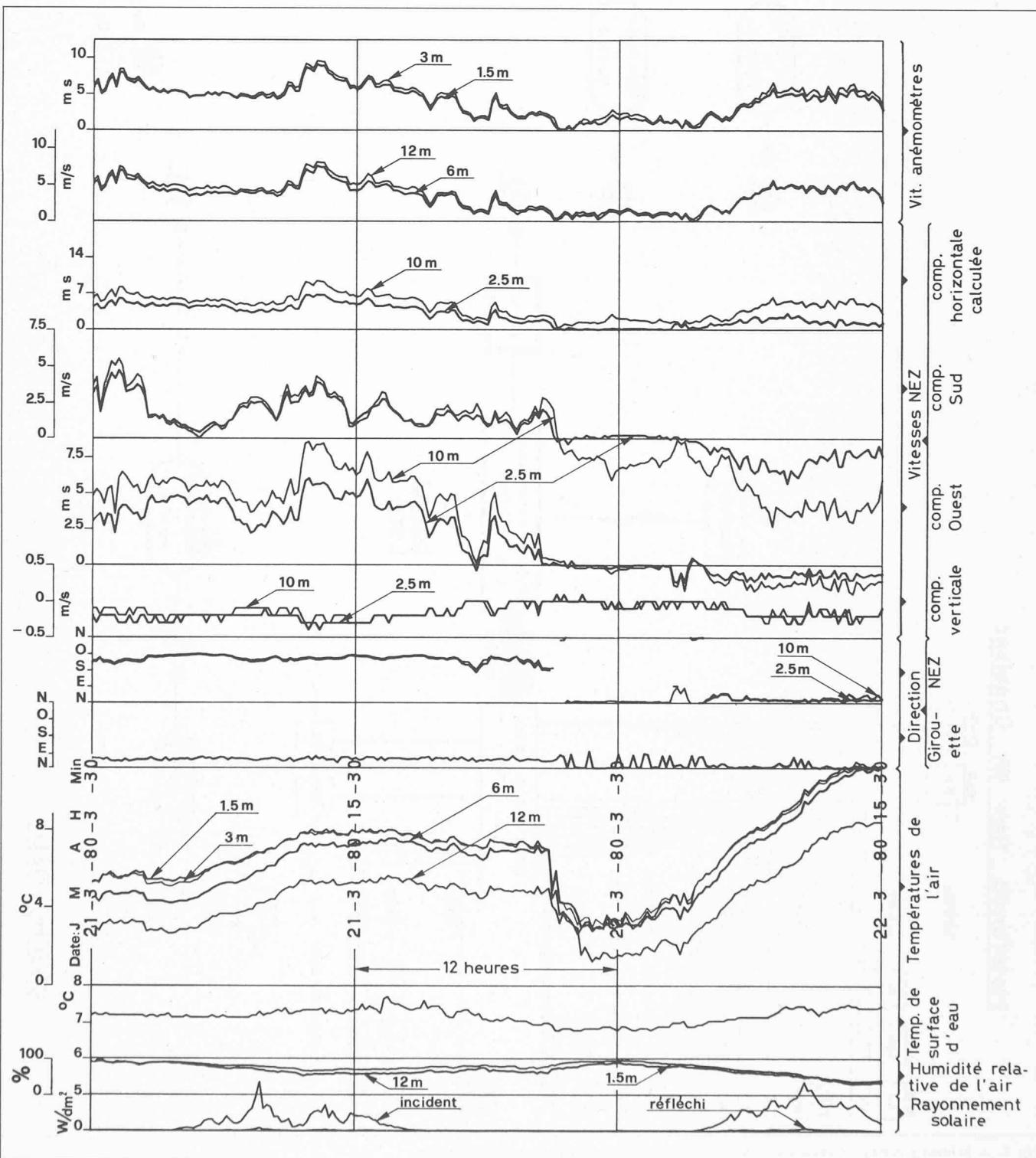
Fig. 12. — Représentation graphique d'un fichier de mesures moyennes, « MG », enregistrées à la plate-forme de Chanivaz du 21.3.80 à 3 h. 30 au 22.3.80 à 15 h. 30.

cédures analogue dans [1] (dans le déroulement des opérations de l'ordinateur « Eclipse » de Data General est maintenant remplacé par le nouvel ordinateur « Vax » de Digital Equipment). Quant aux données de Cointrin et de Chagnins, elles nous sont directement fournies sur bandes magnétiques utilisables pour le traitement.

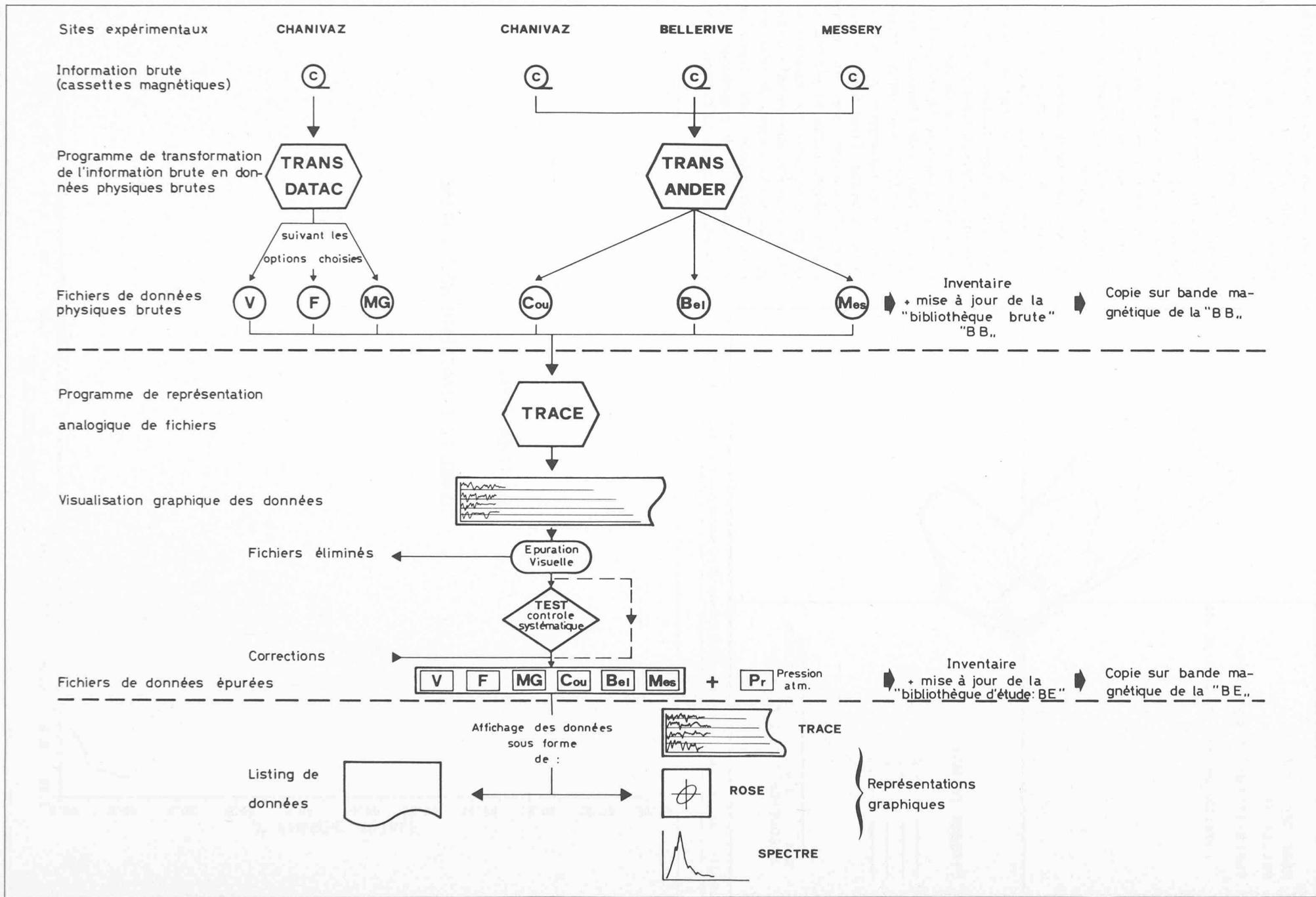
#### 4. Edition des données

##### 4.1 Etablissement des bibliothèques de données

Une fois les données acquises, l'information doit être stockée sous forme



*Fig. 11. — Schéma de création des bibliothèques et de « visualisation » des données.*



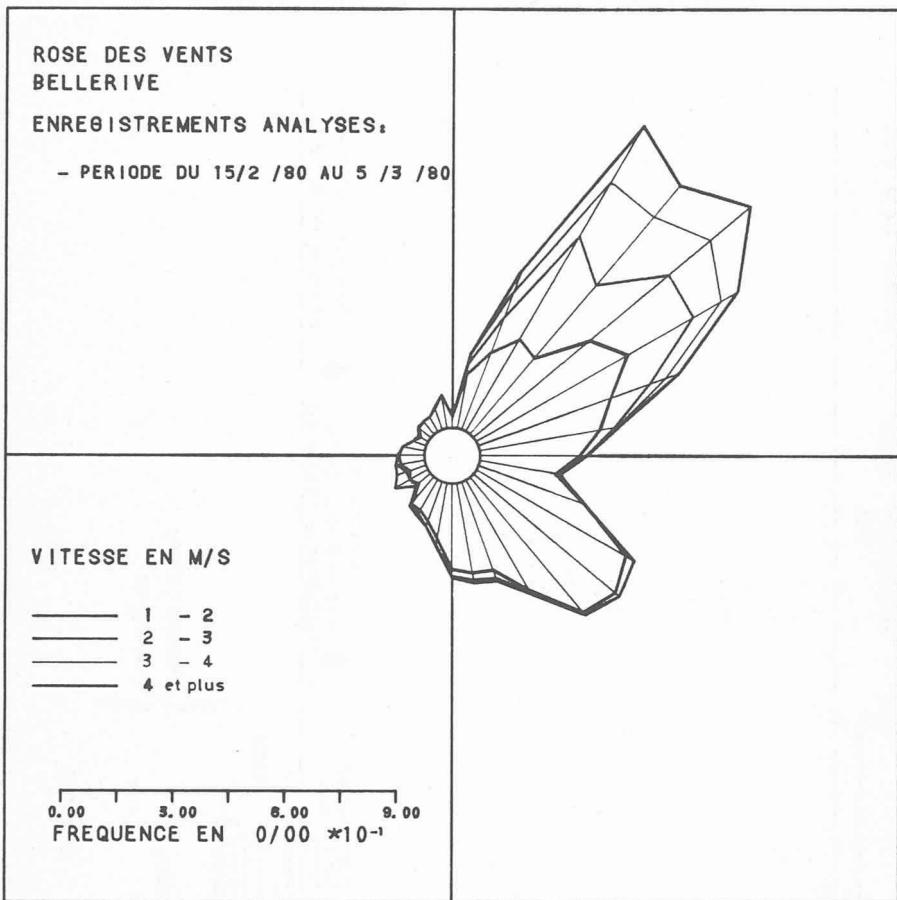


Fig. 13. — Rose des vents obtenue sur le site de Bellerive (10 m) pour la période du 19.2.80 au 5.3.80.

digitale sur un support adéquat facilement récupérable (bandes magnétiques). Plutôt que de banque de données on parlera ici de *bibliothèques de données* ou de *directoires* (en langage *Vax*) qui renfermeront un certain nombre de fichiers dont l'inventaire sera fait systématiquement par remise à jour régulière au fur et à mesure de l'arrivée de nouvelles mesures *in situ*. Le schéma de la figure 11 montre les étapes successives de création et de remplissage successifs des bibliothèques.

Pour une période de mesures donnée, on obtient, suivant les sites expérimentaux, une ou plusieurs cassettes. Elles contiennent les informations brutes qu'il faut d'abord traduire en unités physiques classiques. Cette transformation s'opère au moyen de deux programmes, l'un nommé *TRANS DATA* pour les données de Chanivaz, l'autre *TRANS ANDER* pour celles enregistrées par les dataloggers et courantomètre Aanderaa. Etant donné le système d'acquisition plus ou moins continu adopté, toutes les périodes de mesures enregistrées sur cassettes ne pourront pas être utilisées telles quelles pour les études futures. A l'état brut toute l'information sera cependant conservée sur bande magnétique pour d'éventuelles autres utilisations. Cette

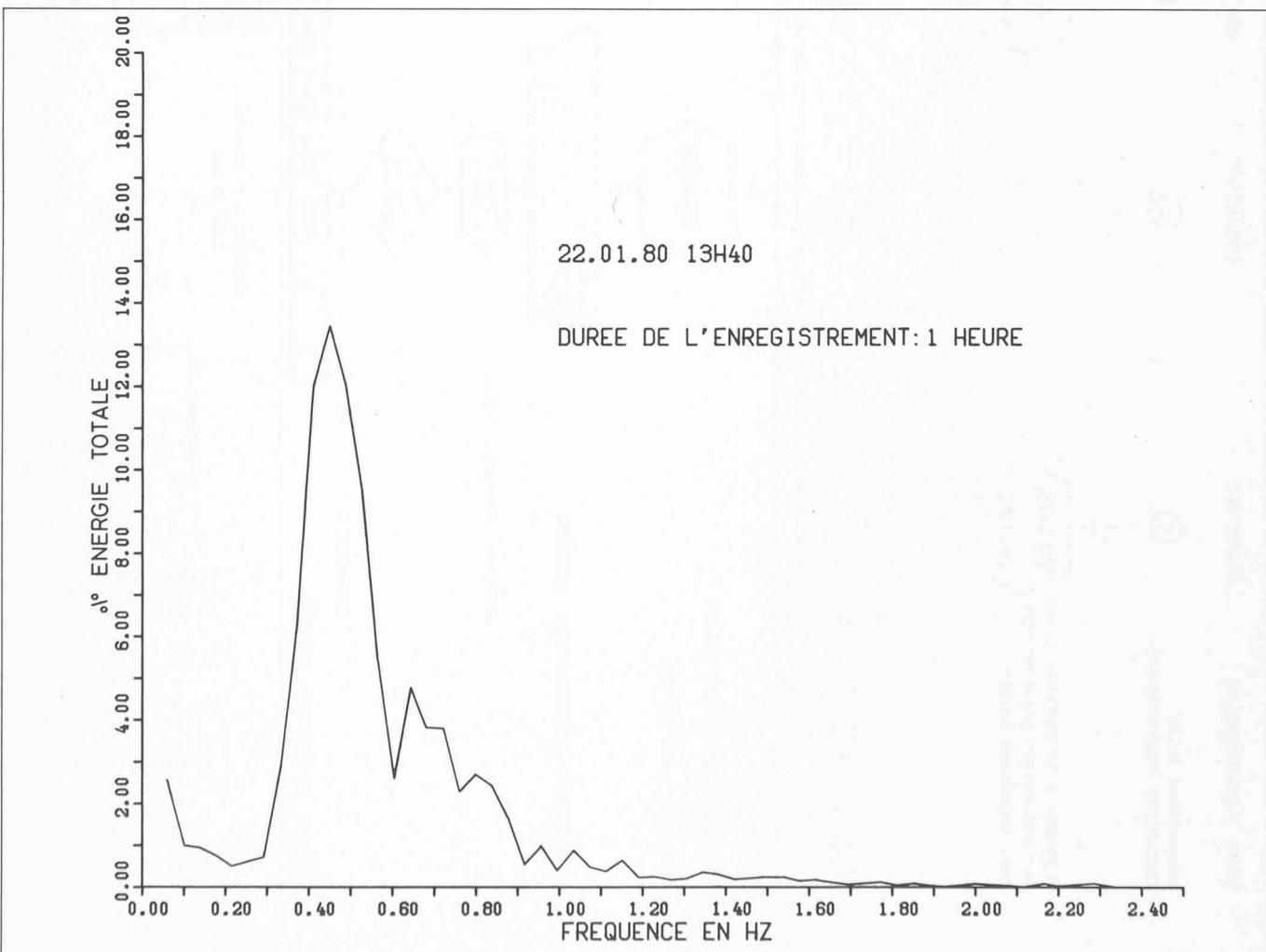


Fig. 14. — Spectre d'énergie des vagues mesurées à la plate-forme de Chanivaz le 22.1.80 de 13 h. 40 à 15 h. 40.

bande constitue une première bibliothèque « brute » (BB) où chaque fichier, correspondant à une série de mesures particulières, est différencié par le site expérimental et pour Chanivaz par les options choisies (cf. paragr. 3.2). Chaque fichier porte un nom, répertorié dans l'inventaire avec l'information générale y relative.

Comme nous l'avons déjà signalé, il convient ensuite de choisir des périodes de mesures intéressantes. Pour cela, la première étape consiste à « visualiser » tous les fichiers obtenus précédemment au fur et à mesure de leur sortie, à l'aide de représentations graphiques (voir paragr. suivant). Une première sélection peut alors s'effectuer par simple « épuration visuelle », la représentation analogique graphique (à l'aide du programme *TRACE*) permettant en effet facilement, de voir que tel ou tel instrument ne fonctionne pas ou que les paramètres mesurés ne sont pas valables pour telle étude particulière (par exemple: vents en dehors du secteur S-O). Dans ces conditions, le fichier correspondant ne franchit pas cette étape. Pour les autres, la sélection se poursuit par un contrôle systématique de détection d'erreurs à l'aide de tests de plausibilité simples. Il s'agit de vérifier le domaine d'admissibilité de chaque paramètre mesuré, de continuité des mesures), les gradients verticaux (homogénéité spatiale d'un groupe de mesures) et la stagnation de mesures (apparition successive d'une même valeur). Une fois ces deux niveaux d'épuration franchis et les corrections effectuées, les fichiers épurés obtenus forment la « bibliothèque d'étude » (*BE*) qui est copiée sur une autre bande magnétique. Au fur et à mesure de l'arrivée de ces fichiers un inventaire en est fait avec remise à jour systématique.

#### 4.2 Affichage des données

Malgré les éliminations successives de fichiers, la bibliothèque d'étude *BE* contient, sur chacun des fichiers retenus, un très grand nombre d'informations

digitales qu'il s'agit maintenant d'interpréter. La première possibilité consiste à examiner les « listings » de tous les fichiers de données, mais le moyen d'interprétation le plus rapide est la représentation graphique, d'autant plus qu'une série de programmes généraux a déjà été mis au point à cet effet lors de campagnes expérimentales précédentes. Actuellement, nous disposons du programme *TRACE*, déjà mentionné plus haut, permettant une représentation graphique de séries chronologiques de mesures et du programme *ROSE* qui exécute une analyse fréquentielle permettant de calculer et dessiner les roses de vent obtenues. Ces deux programmes sont décrits dans Bauer et Perrinjaquet, 1979. Pour les mesures de vagues de Chanivaz, deux programmes sont opérationnels: l'un, *ENREG*, calcule différents paramètres caractéristiques des vagues mesurées (par exemple hauteur de la vague significative), l'autre, *SPECTRE*, calcule et dessine le spectre d'énergie obtenu.

Une première phase d'acquisition de données s'est déroulée dans de bonnes conditions du début du mois de janvier à la fin du mois de juin 1980. La bibliothèque des données brutes a été établie et toutes les mesures examinées graphiquement, permettant de faire un premier choix des périodes expérimentales valables pour poursuivre les études. Les figures 12, 13 et 14 montrent les sorties des différents programmes mentionnés plus haut pour des périodes de mesures choisies selon ce premier critère sans test de contrôle systématique (« bypass » fléché en traitillé à la figure 11).

#### Remerciements

Nous voudrions adresser nos remerciements à tous nos collègues du LHYDREP et en particulier à son équipe technique sans la collaboration enthousiaste de laquelle ce vaste projet expérimental n'aurait pu être réalisé. Nous tenons également à remercier les divers organismes qui nous ont accordé leur appui (le Service cantonal des eaux du canton de Vaud, le Département des travaux publics du canton de Genève, les pêcheurs de la région de Buchillon et les Mouettes genevoises). Nos remerciements vont tout particulièrement à la famille Blanc, de la ferme de Chanivaz, et à M. Couderc, du Centre de vacances de la Pointe de Messery, pour leur gentillesse et leur participation active à la surveillance de nos installations. Mentionnons encore que cette étude entre dans le cadre de la recherche « Hydrodynamique des lacs », en partie supportée par le Fonds national suisse de la recherche scientifique.

#### Bibliographie

- [1] BAUER, S. W. and PERRINJAQUET, C. (1979): *Data bank and visualization for sequential data with special reference to Lake Geneva*. In: *Hydrodynamics of Lakes*, ed. W. H. Graf and C. H. Mortimer, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- [2] BRUSCHIN, J. et SCHNEITER, L. (1978): *Caractéristiques des vagues dans les lacs profonds*. Bull. technique de la Suisse romande, no 19, septembre 1978.
- [3] GRAF, W. H. and PROST, J. P. (1979): *The aerodynamic drag; experiments on Lake Geneva*. In: *Hydrodynamics of Lakes*, ed. W. H. Graf and C. H. Mortimer, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- [4] GRAF, W. H. and PROST, J. P. (1980): *Aerodynamic drag and its relation to the sea state; with data from Lake Geneva*. Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Sér. A, Springer.
- [5] PROST, J. P., BAUER, S. W., GRAF, W. H., GIROD, H. (1977): *Campagne de mesure des courants dans le Léman*. Bull. technique de la Suisse romande no 19, septembre 1977.
- [6] RAVUSSIN, P. (1975): *La mesure du vent*. Bull. technique de la Suisse romande no 17, août 1975.

#### Adresse des auteurs:

Jean-Patrick Prost  
Claude Perrinjaquet  
Philippe Béguin  
Laboratoire d'hydraulique  
Ecole polytechnique fédérale de Lausanne  
1015 Lausanne

## Bibliographie

### Composants en béton précontraint

par le Centre de Recherche et d'Expérimentation SARET, Société Anonyme de Recherche et d'Etudes Techniques. — 1 vol. 13×18 cm, 330 pages, 2<sup>e</sup> édition, broché, Editions Dunod, Paris 1979.

La préfabrication en usine de composants et de sous-ensembles normalisés en béton concerne les constructions de type dit « ouvert ». Ses avantages d'emploi sont en particulier :

- la réduction des délais d'exécution,
- le contrôle suivi de la qualité,
- la maîtrise des coûts et de l'organisation des chantiers,
- le respect des exigences phoniques, thermiques et de résistance au feu.

Après les composants du second œuvre si largement répandus dans le bâtiment (portes isoplanches, fenêtres industrialisées, blocs évier, ...) l'emploi des composants gros œuvre béton s'est beaucoup développé ; l'utilisation du béton précontraint par armature adhérente a largement contribué à cette progression.

Cet aide-mémoire, premier ouvrage du genre sur le sujet, en est à sa seconde édition mise à jour et complétée. Il présente les principaux composants en béton précontraint par armature adhérente : poutres et planchers, prédalles, longrines et profilés précontraints.

Dimensionner une poutre précontrainte, mettre en œuvre des planchers à poutrelles et entrevous sous forme pré-assemblée, respecter les normes d'isolation acoustique ou thermique, tels sont quelques-uns des problèmes parmi d'autres dont la réponse figure dans cet ouvrage essentiellement pratique, qui traite de l'ensemble des aspects, calculs, caractéristiques, mise en œuvre, réglementation. De nombreux

abaques et tableaux de valeurs donnent à l'utilisateur les exemples concrets les plus courants.

#### Sommaire :

Définition et principe de la précontrainte par armature adhérente. Les constituants du béton précontraint. Résistance des matériaux. Les réglementations applicables au bâtiment. Les planchers à entrevois et poutrelles. Les poutres précontraintes. Les planchers précontraints « finis deux faces ». Les prélisteaux, piquets, longrines et profilés précontraints. La technologie et les contrôles de fabrication du béton précontraint par armature adhérente. Bibliographie. Liste des tenants de systèmes.