

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 93 (1967)
Heft: 25

Artikel: Système anémométrique nez
Autor: Ravussin, P.E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-69099>

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: 26.01.2026

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

5. Une classification des capteurs de vent

Nous avons vu, dans les sections précédentes, le rôle privilégié que jouent les composantes cartésiennes du vecteur vent. Ce fait nous conduit à classer les capteurs de vent (anémomètres) en deux catégories suivant qu'ils mesurent directement ou pas les composantes cartésiennes (V_x , V_y , V_z) du vecteur vent \vec{V} .

A la première catégorie — *capteurs cartésiens* — appartiennent :

- les anémomètres à hélice ;
- les anémomètres à traînée ;
- les anémomètres soniques.

A la seconde catégorie — *capteurs non cartésiens* — se rattachent :

- les girouettes uni ou bidirectionnelles (capteurs angulaires) ;
- les moulinets à cupules } capteurs
- les anémomètres à fil ou film chaud } planaires.

Actuellement encore, la combinaison la plus usitée en météorologie comporte une girouette ($\rightarrow \theta^*$) et un moulinet à cupules ($\rightarrow V_{xy}$). Comme nous l'avons vu, il n'est pas possible de trouver les composantes du vecteur vent moyen en formant séparément des moyennes sur les données fournies par ces dispositifs. Il faudrait, à chaque instant, reconstituer les composantes cartésiennes $V_x = V_{xy} \cos \theta$ et $V_y = V_{xy} \sin \theta$, puis sommer. Le détour entraînerait une quantité de travail considérable et une notable imprécision. Un procédé usuel, bien qu'en principe condamnable, consiste à former \bar{V}_{xy} et à lui adjoindre la dominante de θ^* pendant l'intervalle de temps considéré. Il en résulte toujours une surestimation de V'_{xy} qui peut atteindre plu-

sieurs dizaines de pour-cent en cas de vents faibles et variables. Cette surestimation est particulièrement mal-venue dans les calculs de concentrations et de doses de polluants, car elle conduit toujours à une sous-estimation des risques réels.

Ces faits nous ont amené à entreprendre le développement d'un système anémométrique purement cartésien et digital, en vue d'un traitement statistique aussi aisément que possible des données pertinentes du vent qui interviennent dans les études pratiques de diffusion turbulente. Le champ d'application du système n'est d'ailleurs nullement limité à cette utilisation. Le choix s'est porté sur des capteurs à hélice, plus simples à mettre en œuvre que les dispositifs soniques et qui présentent l'avantage, sur les anémomètres à traînée, de posséder une réponse pratiquement linéaire à la vitesse coaxiale. Le système NEZ, qui résulte de ce développement, est décrit par P.-E. Ravussin dans un article paru récemment dans ce Bulletin. Nos travaux ont bénéficié de l'appui financier de la Commission fédérale de l'hygiène de l'air d'une part, des six industries chimiques bâloises CIBA, Durand & Huguenin, F. Hoffman-La Roche & Co., J. R. Geigy, Lonza et Sandoz d'autre part.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] J. K. ANGELL et D. H. PACK : Atmospheric lateral diffusion estimates from tetroons. *J. Appl. Met.* 4, 418-425, 1965.
- [2] A. JUNOD : Influence du relief sur le spectre de la turbulence atmosphérique ; approche expérimentale. Actes SHSN, 82-84, 1965.
- [3] P. B. MACREADY Jr. : Mean wind speed measurements in turbulence. *J. Appl. Met.* 5, 219-225, 1966.
- [4] A. B. BERNSTEIN : An examination of three wind profile hypotheses. *J. Appl. Met.* 5, 217-219, 1966.
- [5] F. PASQUILL : *Atmospheric Diffusion*, 297 p. Van Nostrand, London, 1962

SYSTÈME ANÉMOMÉTRIQUE NEZ

par P. E. RAVUSSIN, ingénieur physicien EPUL-SIA¹

1. Introduction

Le système anémométrique NEZ à axes cartésiens est destiné à la mesure instantanée du vecteur vent dont la connaissance des variations a une importance primordiale dans l'étude des phénomènes de diffusion. Il permet l'étude de la turbulence qui joue un rôle important dans les problèmes de pollution de l'air ainsi que dans certaines constructions (ponts, tours, téléphériques). Ce système présente également des avantages certains pour les questions de sécurité aéronautique. Des dispositifs additionnels permettent d'obtenir les moyennes vraies ou les moyennes flottantes. Le système NEZ est particulièrement utile pour la mesure des vents faibles et variables.

2. Le capteur codeur NEZ

2.1 Le capteur

La précision et la finesse d'une mesure physique est déterminée principalement par le capteur. Les capteurs

du système NEZ se composent de trois hélices montées à l'extrémité de trois bras perpendiculaires qui sont interchangeables. (Fig. 1.)

La réponse de chaque hélice est quasi cosinusoidale par rapport à l'angle que fait le vent avec l'axe de l'hélice.

Chaque hélice mesure donc une des composantes cartésiennes du vecteur vent. Les bras peuvent être orientés respectivement vers le nord (N), vers l'est (E) et verticalement (Z). Ils peuvent être aussi placés respectivement parallèle et perpendiculaire à une piste d'aviation, ce qui permet de mesurer directement la composante longitudinale et latérale du vent sur la piste. La composante verticale est utile pour l'atterrissement des avions.

Les bras ont un diamètre de 20 mm et une longueur de 400 mm. Une partie de l'électronique est logée à

¹ Exposé présenté lors du *Colloque sur la diffusion turbulente*, organisé le 22 juin 1967 à l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne.

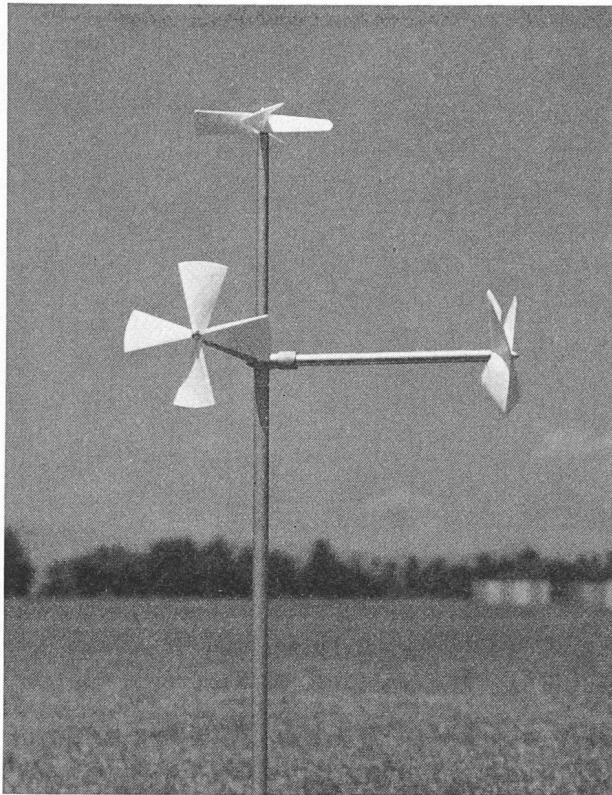


Fig. 1. — Capteurs NEZ. On remarque les deux hélices horizontales et l'hélice verticale.

l'intérieur. Elle fonctionne dans une gamme de température allant de -45° à $+80^\circ$ C.

2.2 Propriétés du capteur

La réponse de l'hélice à une variation du vent n'est pas instantanée. Dans le cas du capteur NEZ, on considère que la réponse est une fonction exponentielle de la distance parcourue par le vent. On n'a donc pas de constante de temps, mais une constante de distance x_0 . Celle-ci peut être calculée à partir des équations de conservation de l'énergie du système air-hélice. (Cf. dimensionnement et propriétés d'un capteur digital de chemin de vent.) Elle vaut 40 cm.

Le seuil de fonctionnement du capteur ne dépend que des frottements. Il est de l'ordre de 15 cm/sec, grâce au système de codage sans frottement. Celui-ci est du type optoélectronique : une diode émettrice de lumière (diode laser) éclaire successivement trois cellules photoélectriques à travers un disque percé de trous, solidaire

de l'axe de l'hélice. On peut aussi utiliser deux disques formant une moire. C'est la succession dans un sens ou dans l'autre des signaux sur les photodiodes qui permet de déterminer le sens de rotation (vitesse positive ou négative du vent).

Le système logique de codage a été réalisé de telle sorte que 1 top corresponde à un parcours constant du vent mesuré de 10 cm, soit un tiers de tour d'hélice. Il supprime toute ambiguïté en cas d'oscillation de l'hélice. Le capteur peut mesurer des vents jusqu'à 50 m/sec au moins.

2.3 Le codeur

A chaque bras correspond un codeur.

Le codeur est un système logique séquentiel qui discrimine un message 123 d'un message 321. Il a été réalisé au moyen de circuits intégrés. Les interconnexions du type galvanique et des circuits d'exclusion le rendent peu sensible aux parasites. (Fig. 2.)

2.4 Mesures fines des variations du vent

Du fait de son inertie, l'hélice ne répond pas instantanément aux variations du vent. L'écart entre la vitesse vraie et la vitesse mesurée est proportionnel au rapport de l'accélération de l'hélice à sa vitesse. Le coefficient de proportionnalité est la de distance de réponse de l'hélice.

$$\dot{x}' = \frac{x_0 \ddot{x}}{\dot{x}} + \dot{x}$$

Cet écart peut être considérable.

Le graphique montre la vitesse mesurée \dot{x} et la vitesse calculée \dot{x}' donnée par un capteur NEZ préalablement arrêté dans un vent en moyenne constant. (Fig. 3.)

3. Traitement des données

3.1 Introduction

Du fait de sa grande finesse, le système NEZ fournit une quantité d'informations bien supérieure au système classique. Le système réalise la digitalisation de l'information au niveau même du capteur ce qui, lié à la définition précise du seuil, permet un traitement statistique automatique et rigoureux des données.

3.2 La voie digitale

La mesure du temps séparant deux tops successifs donne la composante instantanée du vecteur vent. En

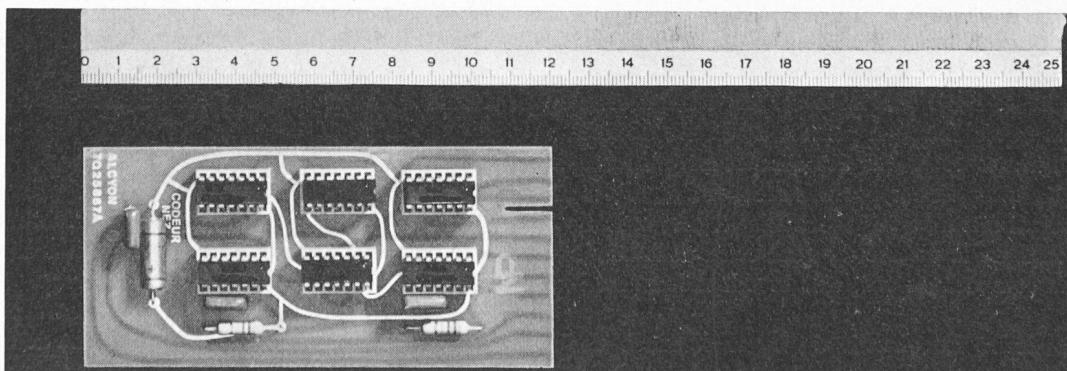


Fig. 2. — Codeur NEZ réalisé au moyen de circuits intégrés.

Photographie Germond, Lausanne.

Réponse d'une hélice NEZ

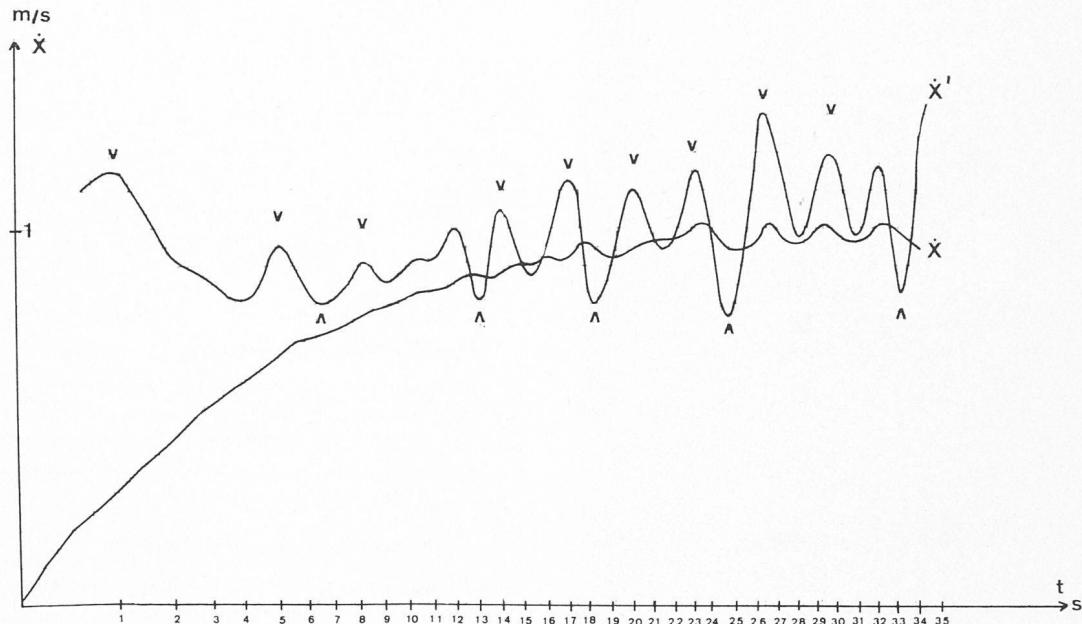


Fig. 3. — Réponse d'une hélice NEZ.

comptant le nombre de tops dans un temps déterminé, on obtient la moyenne vraie de la composante du vecteur vent. On peut choisir le temps de comptage de telle sorte que le nombre trouvé indique la vitesse du vent dans un système d'unité choisi ; par exemple si un top correspond à 10,5 cm, il suffit de compter les tops pendant 1,05 sec pour avoir la vitesse du vent affichée en dm/sec.

Les échelles de comptage peuvent être couplées à une imprimante ou à une perforeuse de carte ou de bande en vue d'un calcul par ordinateur.

Pour mieux utiliser les possibilités de vitesse des appareils périphériques, les signaux provenant du capteur-codeur ainsi qu'un signal d'horloge, sont enregistrés à une vitesse lente sur bande magnétique (autonomie 48 heures). La lecture se fait à grande vitesse, ce qui procure un gain de temps de 25. On peut alors débouiller en 2 heures les données de 2 jours d'enregistrement.

3.3 La voie analogique

Lorsqu'il est nécessaire d'avoir de façon continue le résultat de certaines opérations mathématiques (projection horizontale du vecteur vent-angle du vecteur avec une direction privilégiée) il est pratique de passer par des grandeurs analogiques (tension proportionnelle à la vitesse du vent). Le convertisseur digital analogique du système NEZ comporte un dispositif à constante de temps réglable qui permet d'obtenir directement les moyennes flottantes des composantes du vecteur vent. La composante horizontale peut alors être visualisée sur un écran de tube cathodique. La longueur du vecteur indique la vitesse du vent et sa position, la direction. La composante verticale est affichée numériquement.

Lorsqu'on désire les obtenir de façon continue, les autres grandeurs vectorielles peuvent être calculées analogiquement.

Un signal d'alarme peut être déclenché lorsque le vent atteint une vitesse déterminée dans une direction choisie.

D'autres dispositifs permettent l'utilisation rationnelle du système anémométrique NEZ dans la plupart des applications possibles.

4. Description du système NEZ

4.1 Horloge

L'horloge fournit des impulsions de synchronisation ou de codage d'une fréquence de 300 Hz. Les impulsions ont une durée de 1 m/sec et une amplitude de 5 V. L'oscillateur est du type à pont de Wien, à diapason ou à quartz, selon la précision exigée. La température de fonctionnement s'étend de 0 à +75°C.

4.2 Circuit d'enregistrement

Le circuit d'enregistrement est destiné à relier le codeur et l'horloge à un enregistreur magnétique digital lent à quatre pistes simultanées. Sa fonction est de réunir les sorties + et — du codeur en un seul canal. À la sortie + correspondent des impulsions de tension positive, à la sortie — des impulsions de tension négative. Ce circuit comprend aussi trois indicateurs visuels permettant d'estimer les trois composantes du vecteur vent. Il est prévu deux échelles, l'une de 10 m/sec de vitesse du vent à pleine échelle, l'autre de 50 m/sec.

4.3 Enregistreur magnétique digital lent

L'enregistreur lent permet d'emmageriser les informations sur le vecteur vent et les signaux d'horloge pendant une durée de 48 h, en vue d'un dépouillement accéléré. Il consiste en un enregistreur (deux têtes d'enregistrement à deux pistes) à quatre pistes simultanées dont la vitesse de défilement est de 0,76 cm/sec. L'enregistreur utilise des bandes quart de pouce triple durée du commerce. Il comprend aussi un amplificateur

suivi d'un haut-parleur, commutable sur l'une quelconque des quatre pistes. L'enregistreur comporte aussi une tête d'effacement, ce qui permet d'utiliser des bandes déjà enregistrées. Les signaux d'horloge serviront de base de temps unique dans le traitement ultérieur des signaux. L'enregistreur lent permet aussi d'emmageriser sous forme série des nombres décimaux codés binaires (BCD).

4.4 Lecteur digital magnétique rapide

Le lecteur digital rapide est destiné au dépouillement accéléré des données. La vitesse de défilement de la bande est de 9,5 cm/sec et 19 cm/sec, ce qui procure un gain de 12,5 ou 25. Il comporte deux têtes de lecture à deux pistes suivies de quatre amplificateurs de lecture.

4.5 Circuit de lecture

Le circuit de lecture a une fonction inverse du circuit d'enregistrement. Il sépare les impulsions positives ou négatives d'un canal en deux voies + ou —. A la sortie, les impulsions sont positives d'une amplitude de 5 V et ont une durée de 40 μ sec. Un dispositif supplémentaire permet d'assurer la discrimination des impulsions positive ou négative aux fréquences élevées. On dispose donc de 7 sorties : 1 sortie d'horloge et 2×3 sorties des signaux.

4.6 Station météorologique (station anémométrique)

La station météorologique est destinée à la mesure des vents moyens. Un système digital effectue la somme algébrique des tops transmis par le codeur. Une station centrale interroge le sommateur à intervalle de temps fixe ou enregistre séquentiellement sur place. La station est autonome ; un système de mesure d'autres grandeurs météorologiques peut lui être adjoint.

4.7 Convertisseur digital analogique de lecture

Cet appareil transforme les tops transmis par le codeur en une grandeur mécanique (déplacement d'une aiguille devant un cadran voltmètre à cadre mobile). Il comporte plusieurs échelles permettant de faire une mesure précise quelle que soit la vitesse du vent (jusqu'à 50 m/sec). La constante de temps du système peut être réglée entre une fraction de seconde et quelques minutes. La précision est de l'ordre du pour cent. L'étalonnage des capteurs est possible sur le convertisseur dans ces limites de précision. Une version autonome est prévue pour le contrôle des capteurs in situ. (Fig. 4.)

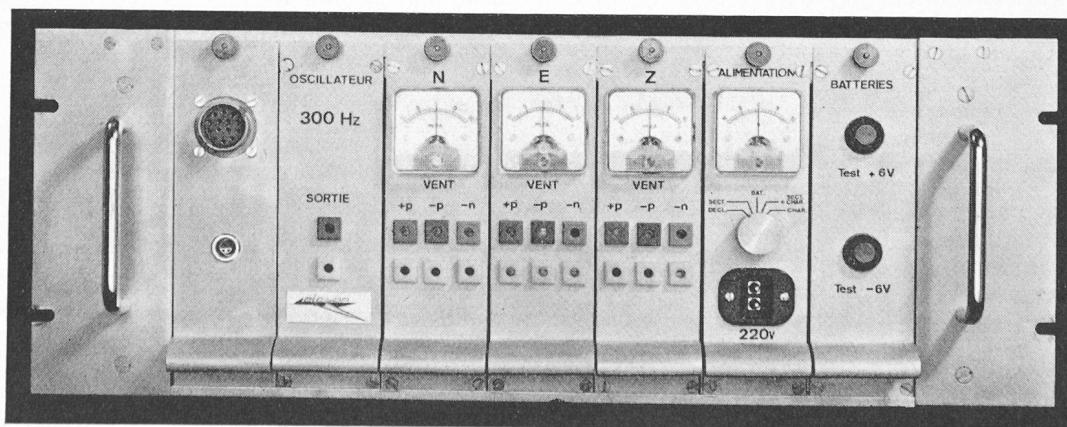


Fig. 4. — Rack NEZ (prototype) comportant trois convertisseurs digital analogique de lecture, trois circuits d'enregistrement, l'oscillateur à diapason 300 Hz, le bloc d'alimentation avec le voltmètre de contrôle des batteries et le bloc des batteries NiCd.

4.8 Précomptage

L'élément de précomptage est destiné aux commandes de marche, d'arrêt et de mise à zéro, soit de l'échelle de comptage, soit de l'affichage numérique. L'entrée reçoit les tops d'horloge. Les sorties donnent des signaux de commande après un nombre correspondant soit à des intervalles de temps fixés, soit à l'affichage de la vitesse du vent dans un système de mesure quelconque (mètres par seconde, nœuds, pieds par seconde, etc.). Dans le calcul du nombre, on tiendra compte d'un facteur correspondant à l'étalonnage des hélices du capteur. L'élément de précomptage peut être connecté au circuit de lecture.

4.9 Echelle de comptage

L'utilisation d'une échelle de comptage bidirectionnelle permet de faire la somme algébrique des impulsions provenant des sorties + et des sorties —. Si nécessaire, une échelle de comptage simple peut être utilisée. Il suffit alors de passer l'enregistrement le nombre de fois nécessaire pour avoir toutes les informations. Les échelles de comptage peuvent être commandées par l'élément de précomptage.

4.10 Affichage numérique

Le dispositif se compose d'échelles de comptage décimales bidirectionnelles permettant de faire la somme algébrique des tops provenant du codeur. Le temps de comptage est déterminé par le précomptage de telle sorte que l'affichage numérique corresponde à une échelle de mesure déterminée. Ce temps peut être varié d'un facteur 10 ce qui correspond à un déplacement de la virgule sur l'affichage. Une sortie permettant le branchement d'un télécopieur est prévue.

4.11 Convertisseur digital analogique

Le convertisseur transforme les impulsions provenant du codeur en une grandeur électrique (tension) proportionnelle à la fréquence des tops. La tension est positive ou négative suivant que le signal provient d'une sortie + ou d'une sortie — du codeur. Le coefficient de proportionnalité peut être réglé de telle sorte que la tension soit proportionnelle à la composante du vecteur vent selon l'axe considéré (calibrage). Plusieurs échelles sont prévues afin de conserver la précision de la mesure quelle que soit la vitesse du vent. La constante de

temps du système (moyenne flottante) peut être réglée entre une fraction de seconde et plusieurs minutes. La précision du système est meilleure que 1 %.

4.12 Circuit de visualisation à tube cathodique

Les signaux analogiques N et E provenant du convertisseur sont appliqués aux plaques de déviation verticales et horizontales d'un tube cathodique. Un graticule permet de lire directement la grandeur de la composante horizontale du vecteur vent, ainsi que sa direction. Le graticule peut être gravé de telle sorte que les défauts de la réponse du capteur vis-à-vis d'un vent ne faisant pas un angle nul avec son axe soient compensés. Une carte des environs au point d'implantation du capteur peut être superposée au graticule. Un réseau permettant de lire les composantes cartésiennes rapportées à un axe choisi peut être interchangé avec le graticule. Les tensions analogiques peuvent être modulées de telle sorte que le vecteur apparaisse sur l'écran sous forme d'un segment de droite lumineux, les extrémités étant marquées par un point plus brillant. Le tube cathodique peut être aussi d'un type comportant un dispositif de mémorisation. Le temps et la durée d'effacement peuvent être réglés.

4.13 Enregistrement optique

Le signal peut être enregistré sous sa forme lumineuse par une caméra photographique et dépouillé manuellement. Il peut aussi être envoyé directement sous sa forme électrique sur un tube convertisseur d'images et traité par des moyens purement électroniques.

4.14 Alarme

Dès que l'un des signaux analogiques fourni par le convertisseur atteint une valeur réglable affichée d'avance, un signal d'alarme est transmis. La zone de sécurité a ainsi une forme rectangulaire, ce qui est utile par exemple dans le cas d'un aérodrome où les influences d'un vent dans le sens de la piste ou latéral sont fort différentes.

4.15 Calculateur analogique

Les signaux analogiques provenant du convertisseur digital analogique sont transmis à des modules de fonction qui calculent à partir des composantes cartésiennes du vecteur vent la grandeur de la composante horizontale et l'angle de la composante horizontale avec une direction privilégiée. Les signaux de sorties sont sous une forme analogique. Ils peuvent être affichés numériquement. La grandeur du vecteur vent ainsi que l'angle du vecteur avec le plan horizontal peuvent être aussi calculés par des circuits supplémentaires.

4.16 Enregistreur analogique

Les signaux provenant du convertisseur digital analogique ou du calculateur analogique peuvent être enregistrés soit sur un magnétophone du type FM, soit sur papier (enregistreur graphique). En tout point du système NEZ, les signaux peuvent être enregistrés sur le magnétophone FM et retransmis ultérieurement.

4.17 Convertisseur analogue digital

Les signaux analogiques peuvent être codés de telle sorte que l'information puisse être directement assimilée par un calculateur digital. Le signal digital peut être lui-même enregistré avant d'être utilisé.

Conclusion

Les différents éléments du système NEZ peuvent être interconnectés de façon à résoudre chaque problème particulier. Ainsi, lorsque l'on désire faire une mesure fine, tous les tops doivent être analysés. La voie digitale suivie d'un traitement automatique de l'information s'impose alors. Si l'on veut effectuer des mesures moins fines, mais pendant de grandes périodes de temps, on peut, soit imprimer numériquement les moyennes vraies en passant par la voie digitale, ce qui permet un traitement automatique, soit enregistrer graphiquement les moyennes flottantes en passant par la voie analogique. Le dépouillement se fera alors manuellement. On peut aussi procéder par échantillonnage.

BIBLIOGRAPHIE

Introduction à la physique électronique, par J. G. R. Van Dijck. Eindhoven, Bibliothèque technique Philips, 1966. — Un volume 15 × 23 cm, xix-370 pages, figures.

Le caractère spécial de ce livre est que non seulement il explique d'une façon simple et sans formules le principe des principaux phénomènes physiques appliqués en électronique, mais qu'il présente une systématique complète de ces phénomènes, qui, tout en les reliant entre eux par les diverses formes d'énergie qui les déclenchent, comprend trois groupes bien distincts : 1) les phénomènes de charge et de décharge électrique à travers les différents milieux ; 2) les phénomènes d'excitation et de rayonnement et 3) les phénomènes d'ionisation et d'émission de particules libres.

Logiquement, suit alors l'étude du comportement de ces particules sous l'influence de divers champs électriques et magnétiques, c'est-à-dire l'« optique électronique », qui sert d'introduction aux différents tubes électroniques et ioniques et aux dispositifs à semi-conducteurs.

Ces dispositifs doivent remplir les fonctions de redresseur, d'amplificateur, de générateur d'oscillations, de

source de lumière, de mémoire, etc., dont le principe physique est expliqué sommairement. Les différents chapitres sont abondamment illustrés par les applications les plus diverses, que l'auteur a vu naître et se développer durant sa longue carrière d'ingénieur-conseil en électronique.

Sommaire :

1. *Energie et matière : Structure de la matière.* — L'énergie et ses formes principales.

2. *Phénomènes électroniques : Phénomènes de charge et de décharge.* — Phénomènes d'excitation et de rayonnement. — Phénomènes d'ionisation et d'émission.

3. *Tubes électroniques et systèmes solides : Éléments d'optique électronique.* — Introduction à l'étude des dispositifs électroniques. — *Index.*

Hydromechanik im Wasserbau, par H. Press et R. Schröder. Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin-Munich, 1966. — Un volume de 560 pages, 448 illustrations, 30 tables. Prix : relié toile, 105 DM.

Ce traité d'hydraulique pour ingénieurs civils a le mérite d'assurer le passage entre la théorie de la mécanique des fluides et les problèmes de l'ingénieur sans sombrer dans l'empirisme des aide-mémoire tout en apportant dans plusieurs chapitres des contributions