



Arbeitsberichte der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt
Rapports de travail de l'Institut Suisse de Météorologie
Rapporti di lavoro dell'Istituto Svizzero di Meteorologia
Working Reports of the Swiss Meteorological Institute

Zürich

DES RELATIONS ENTRE L'ALTITUDE ET CERTAINS PARAMETRES
METEOROLOGIQUES, EN PARTICULIER LA PRESSION PARTIELLE
DE L'OXYGENE

par

B. Primault, Zurich

Juli 1980

Statique de l'atmosphère
Composition de l'air

551.511.12
551.510.41

Résumé

L'oxygène est indispensable à la plupart des organismes pour vivre et se développer. Cet adage s'applique plus spécialement aux êtres à sang chaud, partant à l'homme (Homo Sapiens). Cependant, les quantités qui sont véhiculées par le sang sont fonction de la pression partielle de cet élément dans l'air inspiré. Cette pression dépend en premier lieu de l'altitude, mais aussi de la température et de l'humidité de l'air. Après avoir donné la composition de l'air au voisinage du sol, on compare entre elles deux formules permettant le calcul de la pression atmosphérique en fonction de l'altitude. Les résultats ainsi obtenus sont confrontés aux mesures faites en Suisse. La formule choisie à la suite de cette confrontation sert alors à calculer des tables de la pression atmosphérique totale et de la pression partielle de l'oxygène.

Zusammenfassung

Die Mehrzahl der Organismen benötigt Sauerstoff um leben und sich entwickeln zu können. Dies gilt für alle Warmblüter, also auch für den Menschen. Die Sauerstoffmenge, die das Blut aufnehmen kann, ist jedoch eine Funktion des Partialdruckes der eingeatmeten Luft. Dieser Druck ist in erster Linie abhängig von der Höhe, in zweiter Linie von der Temperatur und von der Luftfeuchtigkeit. Nach Angabe der Luftzusammensetzung in Bodennähe werden zwei Formeln angegeben, die es erlauben, den Luftdruck als Funktion der Höhe zu berechnen. Die so erhaltenen Werte werden dann mit Messungen aus der Schweiz verglichen. Die daraus gewählte Formel dient schliesslich zur Aufstellung von Tabellen des totalen Luftdruckes sowie des Partialdruckes des Sauerstoffes.

Riassunto

Per la maggior parte degli organismi, l'ossigeno è indispensabile per poter vivere e per svilupparsi. Questo fatto vale soprattutto per esseri a sangue caldo, cioè anche per l'uomo. La quantità dell'ossigeno che il sangue può assorbire è tuttavia una funzione della pressione parziale dell'aria inspirata. Questa pressione dipende in prima linea dell'altezza e anche dalla temperatura e dall'umidità dell'aria. A conoscenza della composizione dell'aria vicino il suolo, si può dare due formule, le quali permettono di calcolare la pressione atmosferica come funzione dell'altezza. I risultati così ottenuti vengono paragonati a misurazioni fatte in Svizzera. La formula scelta in seguito a questa confrontazione serve a calcolare le tabelle della pressione atmosferica e della pressione parziale dell'ossigeno.

Summary

For life and development of most of the organisms, oxygen is indispensable. This rule applies particularly to all warm blood creatures, inclusively the human species. The quantities of oxygen circulating in blood are function of the pressure of this gas in the inhaled air. This pressure depends first of all on the altitude, but also on air temperature and humidity. After having given the composition of the air near the ground, one compares between them two formulations for the determination of atmospheric pressure with respect to height. The results are then compared to measurements performed in Switzerland. The better formulation has been used for the computation of tables of total atmospheric pressure and pressure of the oxygen as functions of altitude.

1. Introduction

Durant l'antiquité et le Moyen-Age, bien des voyageurs traversant les Alpes ont relaté que, en altitude, la respiration était plus difficile. Il en résultait même parfois des malaises, voire des évanouissements.

Cependant ce n'est que depuis les premières ascensions à buts scientifiques, en particulier l'ascension du Mont Blanc par de Saussure en 1787, qu'on s'est rendu compte de façon concrète de la baisse de pression. Ainsi, l'homme qui se rend en haute montagne subit les contre-coups de l'altitude et son corps doit s'adapter de façon constante, principalement dans son système respiratoire. La baisse de pression exerce une sorte de succion qui augmente le risque d'oedèmes pulmonaires. Pourtant, ce n'est pas en raison des forces de succion que l'organisme est le plus en danger. La plupart des maux dus à l'altitude proviennent d'un mauvais approvisionnement des tissus (surtout du cerveau) en oxygène.

Des populations entières vivent pourtant à des altitudes très élevées sans, apparemment, en ressentir des inconvénients quelconques. On pensera ici surtout aux Thibétains et aux Indios des Andes.

Des gens de races différentes et qui n'ont pas été acclimatés au cours de nombreuses générations peuvent se mouvoir aisément à très haute altitude. Un séjour prolongé à des altitudes toujours plus élevées (simulées ou réelles) provoque une réaction du système sanguin. Le corps est ainsi à même d'absorber suffisamment d'oxygène pour vivre normalement, même dans une atmosphère raréfiée. Les dernières ascensions de l'Himalaya où des sommets de plus de 8000 mètres ont été gravis sans l'aide de bouteilles à oxygène en sont la preuve évidente.

Il semble que, dans des conditions particulières, l'homme puisse s'adapter relativement vite à des conditions particulières.

L'exemple le plus frappant de telles facultés d'adaptation est probablement donné par les athlètes ayant concouru aux Jeux Olympiques de 1968 à Mexico. Les différentes équipes nationales avaient préalablement été entraînées en pays montagneux. Pour les Suisses cet entraînement a eu lieu dans la Haute-Engadine vers 1700 mètres soit à une altitude légèrement inférieure à celle de Mexico.

On peut se demander au vu de ces quelques exemples, dont la liste n'a pas la prétention d'être exhaustive, quelle est la raison et le mécanisme des désagréments subis en montagne par une grande partie de nos concitoyens.

Avec l'altitude, la pression générale de l'air diminue et avec elle la pression partielle de l'oxygène. Par conséquent, le corps n'est plus ravitaillé de façon normale en ce gaz essentiel à la vie. Les globules rouges du sang d'un individu habitué à des pressions relativement élevées sont en nombre insuffisant pour absorber une quantité adéquate d'oxygène lors de leur passage dans les poumons. En outre, la composition chimique de l'hémoglobine elle-même se modifie avec la baisse ou la hausse de pression.

Par conséquent, un individu qui est soumis à une pression diminuée doit faire appel à ses réserves pour subvenir aux besoins de son corps. Au début d'un séjour en montagne (deux, éventuellement trois jours), il ne ressentira que des effets momentanés. Ensuite, il subira pendant quelques jours (dont le nombre dépend des individus) des crises de dépression, de l'insomnie et un manque d'appétit. Puis il se remettra petit à petit.

Avec le temps, le corps, sollicité de toutes parts, fabrique un nombre accru de globules rouges et surtout modifie leur composition physico-chimique. Le sang peut alors absorber une plus grande quantité d'oxygène, même si la pression partielle extérieure reste diminuée.

Cette faculté de produire un plus grand nombre de globules rouges ou/et d'absorber davantage d'oxygène à l'unité reste acquise pendant une assez longue durée, même si la cause première (pression partielle réduite)

n'est plus réalisée: un retour en plaine par exemple. C'est la raison pour laquelle, depuis l'antiquité, on envoie les patients atteints d'anémie faire des séjours plus ou moins prolongés en montagne.

La baisse de la pression partielle de l'oxygène est donc un élément très important pour les cures climatiques de haute montagne. Afin que les médecins puissent se rendre compte dans quelle mesure leurs patients sont sollicités par cet élément particulier, nous présentons ci-après cette variation en expliquant les causes et les moyens de la calculer.

2. Composition de l'atmosphère

Afin d'avoir une base de calcul permettant de définir exactement certaines grandeurs physiques, on a admis une atmosphère standard qui a été reconnue tant par l'OACI (Organisation de l'aviation civile internationale) que par l'OMM (Organisation météorologique mondiale). Cette atmosphère standard est basée sur un mélange gazeux admis comme constant de 0 à 25'000 mètres d'altitude. Il se compose comme suit:

azote	78,09%
oxygène	20,95%
argon	0,92%
gaz carbonique	0,03%

Le 0,01% restant est composé de gaz dits rares: néon, hélium, krypton, hydrogène, xénon, ozone et radon (cités dans l'ordre décroissant de leur présence dans l'atmosphère).

On sera certes étonné de ne pas rencontrer la vapeur d'eau dans cette énumération. Il s'agit cependant ici et par définition d'un air sec.

Pourtant, l'observation régulière du ciel nous enseigne par la présence de nuages que l'air que nous respirons n'est pratiquement jamais sec, c'est-à-dire qu'il contient toujours une plus ou moins grande quantité de vapeur d'eau mélangée aux gaz énumérés ci-dessus. Suivant la température de l'air et la quantité d'eau en suspension dans

l'atmosphère, la saturation, c'est-à-dire la quantité maximum de vapeur d'eau que la masse d'air peut absorber en mélange, est dépassée. Il y a alors condensation, c'est-à-dire présence d'eau liquide ou congelée sous forme de nuages ou de brouillard.

Si l'on fait l'addition des poids moléculaires des différents gaz composant l'atmosphère en tenant compte de leur proportion respective et qu'on le compare au poids moléculaire de la vapeur d'eau, on constate que ce dernier est bien inférieur au premier. Par conséquent, plus l'air est humide plus il est léger (à température et à pression égales) c'est-à-dire plus faible est la pression exercée par la colonne d'air surmontant un endroit donné.

Même par saturation et par température élevée (30°C au niveau de la mer), la pression exercée par la seule vapeur d'eau ne représente que 21% de celle de l'oxygène pris isolément.

La quantité de vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère varie avec les conditions météorologiques du moment et avec l'altitude, si bien que le maximum n'est jamais atteint dans toute la colonne à la fois. A titre d'information nous donnons à la figure 1, l'humidité relative moyenne d'un certain nombre de stations suisses et, en moyenne par tranches de 500 m.

3. Relation entre l'altitude et la température

Celui qui a effectué une ascension quelconque a pu constater que la température était inférieure en altitude à ce qu'elle est en plaine (à l'exception des inversions thermiques).

Cette baisse de température est étroitement liée à la baisse de pression. En effet, si l'on détend un gaz, sa température s'abaisse. Au contraire cette dernière s'élève lors de la compression du gaz (principe de la pompe à chaleur).

Lors de l'établissement de l'atmosphère standard, il a bien fallu admettre une loi régissant ce phénomène. Selon les bases de calcul de l'OACI pour l'atmosphère standard, on admet un gradient de $0,0065 \text{ K m}^{-1}$.

Ainsi, la température baisserait d'un peu plus d'un demi degré par 100 m. de dénivellation ou, en d'autres termes, il faut franchir une dénivellation de 153,8 m. pour subir un abaissement (ou une élévation) de 1 K.

Si nous reportons graphiquement la température moyenne de différentes stations du réseau d'observation suisse en fonction de leur altitude et qu'on compare le nuage de points ainsi obtenu à l'abaissement de température défini pour l'atmosphère standard (fig. 2), on constate que toutes les stations de plaine et celles de montagne situées au-dessous de 3000 m. ont des températures inférieures à celles que prévoit l'atmosphère standard. Seule la station du Jungfraujoch présente une température supérieure.

Pourquoi observe-t-on une telle différence systématique chez nous ?

L'atmosphère standard a été déterminée sur la base des observations effectuées sur tout le globe. Elle correspond donc aux conditions régnant sur un parallèle moyen.

Notre globe étant une sphère ce parallèle moyen est représenté par l'équateur. Pourtant, l'équateur est la région la plus chaude du globe vu que les rayons du soleil y sont presque toujours perpendiculaires. Une atmosphère basée sur les conditions qu'on y rencontre ne correspondrait donc pas à des conditions moyennes et ne serait d'aucune utilité dans les régions les plus habitées qui sont situées environ à mi-chemin entre l'équateur et les pôles. C'est la raison pour laquelle on a divisé la surface de chaque hémisphère en deux parties égales. Le "parallèle moyen" qui en résulte se trouve alors situé à une latitude de $33^{\circ}20'$ de part et d'autre de l'équateur.

Notre pays se trouve par contre aux environs du 47^e parallèle nord. Il est donc plus rapproché du pôle (c'est-à-dire plus froid) que ne l'est le lieu pour lequel l'atmosphère standard a été déterminée. Il en résulte que les basses couches de l'atmosphère sont plus froides chez nous que ne le voudrait le gradient thermique admis pour l'atmosphère standard. Ce gradient s'établit, en première approximation, à 0.57^o par 100 m.

Même si on utilise les sondages aérologiques de Payerne pour établir le gradient thermique de l'atmosphère libre (entre 850 et 700 mbars), on obtient une moyenne de 0.55 K 100 m⁻¹, c'est-à-dire qu'il faut franchir une dénivellation de 181.8 m pour subir une variation de température de 1 K.

4. Les variations de pression avec l'altitude

En partant du gradient thermique cité plus haut, l'OACI et l'OMM proposent une formule de calcul de la pression qui ne fait intervenir que l'altitude et cela pour toute la partie inférieure de l'atmosphère soit la troposphère:

$$p = 1013,25 \left(\frac{288,16 - 0,00065 z}{288,16} \right)^{5,25611547} \quad [1]$$

où p est la pression en mbar et z l'altitude en m.

Un certain nombre de stations du réseau climatologique suisse effectuent des mesures quotidiennes de la pression barométrique. On peut donc établir sur la base de ces observations et pour chacune d'entre elles, une moyenne qui correspondrait à son altitude. On obtient ainsi une succession de points qui, reliés entre-eux, donnent l'atmosphère au sol (voir fig. 3).

A la station aérologique de Payerne, on effectue régulièrement des sondages dans l'atmosphère libre, sondages qui permettent de calculer, en partant de la température et de l'humidité réelles, l'altitude de

différents niveaux définis par les règlements internationaux. Il s'agit, dans le cas particulier, des niveaux de 850 mbar (environ 1500 m) et de 700 mbar (environ 3000 m). En établissant la moyenne de ces altitudes et en effectuant le rapport avec la pression correspondante, on peut placer ces deux points dans la série précédente.

Il y a bien des années déjà, le chef du service de climatologie de l'ISM, M. Uttinger, avait constaté que ces pressions moyennes ne correspondaient pas à l'atmosphère standard OACI. Il a donc effectué des recherches qui ont conduit à l'établissement de la formule suivante:

$$p_{i+1} = p_i + \frac{-a p_i + b \cdot 10^{-\frac{z_i}{c}}}{d - f z_i} \Delta z \quad [2]$$

où

p_i est la pression initiale en dyn cm^{-2} ($1017.517 \cdot 10^3$ à 0 m d'altitude ou pour z_0), z_i l'altitude du point initial en cm et Δz est la différence d'altitude entre 2 points successifs en cm (nous avons effectué les calculs de 10 en 10 m)

a, b, c, d, et f sont des constantes, respectivement $a = 3,4169 \cdot 10^{-4}$, $b = 1,3434$, $c = 6,3 \cdot 10^5$, $d = 284,45$ et $f = 0,52 \cdot 10^{-4}$.

On a également reporté sur la figure 3, la courbe découlant de cette formule. Les distances sont réelles mais, vu l'échelle adoptée, difficilement saisissables. C'est la raison pour laquelle on a extrait de cette figure 4 deux couches de 500 m environ chacune et reporté à nouveau les mêmes données conjointement aux pressions moyennes des stations suisses correspondantes (fig. 4 et 5).

De ces deux figures, on tire la conclusion que la différence entre le procédé de calcul proposé par l'OACI et celui élaboré par Uttinger est d'environ 3 mbar, le second donnant des valeurs supérieures à celles du premier pour la même altitude. La courbe découlant du second de ces procédés est en outre très voisine des pressions effectivement mesurées chez nous aussi bien au sol qu'en atmosphère libre.

Par conséquent, nous recommandons d'utiliser la formule mise au point par Uttinger pour tous les calculs de pressions soit totale, soit partielle.

5. La pression partielle de l'oxygène

En partant de la composition de l'atmosphère, telle qu'elle est définie au chapitre 2, on peut aisément calculer la pression partielle de l'oxygène par rapport à la pression totale, telle qu'elle résulte des calculs résultant du chapitre 4. Il suffit de multiplier cette pression totale par 0,2095.

Au tableau 1, nous donnons le résultat de ce calcul pour des altitudes de 10 en 10 mètres, échelonnées entre 0 et 4990 mètres. Il sera ainsi possible à chaque médecin de voir les différences de pressions partielles d'oxygène existant entre le lieu de résidence habituel de son patient et un lieu de séjour choisi en fonction de ses vertus curatives de l'anémie. La base de calcul de ce tableau est la formule de Uttinger.

A titre de comparaison, nous donnons au tableau 2 les chiffres correspondants, résultant de la formule de l'OACI.

6. Les fluctuations naturelles de la pression

Dans tout ce qui précède, nous avons utilisé comme base de comparaison des moyennes établies sur 30 années d'observation. Il s'agit donc d'une situation hypothétique correspondant à un nivellement tant des températures que des pressions. Pourtant, au cours des saisons, les températures varient et au gré des situations météorologiques, la pression se modifie assez sensiblement. C'est la raison pour laquelle, nous indiquons à la figure 6 les variations possibles de la pression dans différentes parties du pays et à différentes altitudes (la représentation fréquentielle a été établie selon Primault 1978). On pourra ainsi se rendre compte des variations possibles de la pression totale et, partant, de la pression partielle de l'oxygène, variations dues

à des phénomènes météorologiques dynamiques. Un patient qui effectue une cure climatique n'est donc pas soumis en permanence à la même pression barométrique. D'une part, il se meut aux alentours de la station de cure elle-même et, d'autre part, la pression y varie sous l'influence des conditions météorologiques à grande échelle.

Les variations de ce second ordre sont comparables à une différence maximum d'altitude d'environ 600 m entre la plus forte et la plus faible pression. Pourtant, ces variations se réduisent à quelques 150 m dans l'amplitude normale (50% des cas) et sont moins prononcées en été qu'en hiver.

7. La pression partielle de vapeur d'eau

Nous avons vu plus haut et en particulier au chapitre 2 que l'atmosphère standard était une atmosphère sèche, c'est-à-dire dans laquelle on ne tenait pas compte de la présence de vapeur d'eau. Or, en réalité, une atmosphère parfaitement sèche ne se rencontre pas dans la nature. Même dans les régions les plus désertiques du globe, ou en montagne par régime de subsidence, l'air contient toujours une certaine quantité de vapeur d'eau.

La vapeur d'eau n'a pas seulement pour effet de faire varier la densité du mélange dénommé "air" mais a aussi des répercussions directes sur le bien-être de l'homme. Pour que les échanges gazeux puissent s'effectuer au niveau des poumons, l'air insufflé, réchauffé à la température du corps, doit y être saturé d'humidité.

Le corps humain, plus particulièrement les arrières fosses nasales et la trachée sont équipées d'un système de vaporisation qui est appelé à fournir l'eau nécessaire pour saturer l'air inspiré. Si les conditions extérieures sont défavorables, ce mécanisme ne fonctionne pas à satisfaction. Les muqueuses se dessèchent alors et deviennent facilement la proie d'agents pathogènes (virus de rhume, de grippe, etc.).

C'est le cas en particulier lorsque la température est maintenue un certain temps dans la zone neutre (comprise entre 20 et 24°) et que l'air est très sec (moins de 40% d'humidité relative). Ce sont les conditions qu'on rencontre généralement en hiver dans les locaux d'habitation et les bureaux (Primault 1966).

Il est une autre combinaison température/humidité qui est particulièrement désagréable: le temps lourd. Diverses recherches ont montré que l'homme perçoit une sensation de suffocation dès que la pression de vapeur dépasse 18,8 mbars (14,1 Torr selon Thams).

Comme cette pression de vapeur est atteinte au-dessus de 16,5°C (289,75 K) dans de l'air saturé, toutes les températures inférieures à ce seuil ne pourront être suffocantes. Au-dessus, cela dépendra de la valeur relative de l'humidité.

La pression de vapeur est partie intégrante de la pression totale. Par conséquent, si l'on veut connaître exactement la pression partielle de l'oxygène, il faut tout d'abord déduire de la pression du moment la valeur qui se rattache à la vapeur d'eau et, ensuite seulement, multiplier par le facteur de correction donné au chapitre 5.

8. Unités

8.1. Pression

$$1 \text{ Torr} = 1 \text{ mm de mercure à } 0^{\circ}\text{C}$$

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ Pascal}$$

$$1 \text{ mbar} = 1 \text{ Millibar}$$

Conversion

$$1 \text{ Torr} = 133,3224 \text{ Pa} = 1,333224 \text{ mbar}$$

$$1 \text{ Pa} = 0,01 \text{ mbar} = 0,007501 \text{ Torr}$$

$$1 \text{ mbar} = 0,750061 \text{ Torr} = 100 \text{ Pa}$$

8.2. Echelles de température

$$\begin{array}{lclcl} x & ^\circ\text{C} & = (x + 273,25 \text{ K}) & = (0,8 x) & ^\circ\text{R} \\ 0 & ^\circ\text{C} & = 273,25 \text{ K} & = 0^\circ & \text{R} \\ 100 & ^\circ\text{C} & = 373,25 \text{ K} & = 80^\circ & \text{R} \end{array}$$

9. Bibliographie

- Letestu S. Tables météorologiques internationales
OMM (Organisation Météorologique Mondiale). No 188.
TP.94.1966.
- Primault B. De la nécessité d'humidifier les locaux
Revue de Médecine préventive. Vol.11.Fasc.1. 1966.
pp 25-38.
- Primault B. De la représentation des limites des séries
climatologiques.
Rapports de travail de l'Institut suisse de météoro-
logie. No 78.1978.7 pp + 2 tableaux + 5 figures.
- Uttinger H. Luftdruck und Höhe
Non publié.

Adresse de l'auteur: Dr. Ing. B. Primault
Institut suisse de météorologie
Section de météorologie agricole et humaine
Case Postale
CH-8044 Zurich
Suisse

Alt.	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	213.17	212.91	212.66	212.40	212.15	211.89	211.64	211.39	211.13	210.88
100	210.63	210.37	210.12	209.87	209.62	209.37	209.12	208.86	208.61	208.36
200	208.11	207.86	207.61	207.36	207.11	206.87	206.62	206.37	206.12	205.87
300	205.62	205.38	205.13	204.88	204.64	204.39	204.14	203.90	203.65	203.41
400	203.16	202.92	202.67	202.43	202.18	201.94	201.69	201.45	201.21	200.96
500	200.72	200.48	200.24	199.99	199.75	199.51	199.27	199.03	198.79	198.55
600	198.31	198.07	197.83	197.59	197.35	197.11	196.87	196.63	196.39	196.15
700	195.92	195.68	195.44	195.20	194.97	194.73	194.49	194.26	194.02	193.79
800	193.55	193.32	193.08	192.85	192.61	192.38	192.14	191.91	191.68	191.44
900	191.21	190.98	190.74	190.51	190.28	190.05	189.82	189.58	189.35	189.12
1000	188.89	188.66	188.43	188.20	187.97	187.74	187.51	187.28	187.05	186.83
1100	186.60	186.37	186.14	185.91	185.69	185.46	185.23	185.01	184.78	184.55
1200	184.33	184.10	183.88	183.65	183.43	183.20	182.98	182.75	182.53	182.30
1300	182.08	181.86	181.63	181.41	181.19	180.96	180.74	180.52	180.30	180.08
1400	179.86	179.63	179.41	179.19	178.97	178.75	178.53	178.31	178.09	177.87
1500	177.65	177.44	177.22	177.00	176.78	176.56	176.34	176.13	175.91	175.69
1600	175.48	175.26	175.04	174.83	174.61	174.39	174.18	173.96	173.75	173.53
1700	173.32	173.10	172.89	172.68	172.46	172.25	172.04	171.82	171.61	171.40
1800	171.19	170.97	170.76	170.55	170.34	170.13	169.92	169.71	169.49	169.28
1900	169.07	168.86	168.65	168.45	168.24	168.03	167.82	167.61	167.40	167.19
2000	166.98	166.78	166.57	166.36	166.16	165.95	165.74	165.54	165.33	165.12
2100	164.92	164.71	164.51	164.30	164.10	163.89	163.69	163.48	163.28	163.07
2200	162.87	162.67	162.46	162.26	162.06	161.86	161.65	161.45	161.25	161.05
2300	160.85	160.65	160.44	160.24	160.04	159.84	159.64	159.44	159.24	159.04
2400	158.84	158.64	158.44	158.25	158.05	157.85	157.65	157.45	157.26	157.06
2500	156.86	156.66	156.47	156.27	156.07	155.88	155.68	155.49	155.29	155.09
2600	154.90	154.70	154.51	154.32	154.12	153.93	153.73	153.54	153.35	153.15
2700	152.96	152.77	152.57	152.38	152.19	152.00	151.80	151.61	151.42	151.23
2800	151.04	150.85	150.66	150.47	150.28	150.09	149.90	149.71	149.52	149.33
2900	149.14	148.95	148.76	148.57	148.38	148.20	148.01	147.82	147.63	147.45
3000	147.26	147.07	146.89	146.70	146.51	146.33	146.14	145.96	145.77	145.59
3100	145.40	145.22	145.03	144.85	144.66	144.48	144.29	144.11	143.93	143.74
3200	143.56	143.38	143.19	143.01	142.83	142.65	142.47	142.28	142.10	141.92
3300	141.74	141.56	141.38	141.20	141.02	140.84	140.66	140.48	140.30	140.12
3400	139.94	139.76	139.58	139.40	139.23	139.05	138.87	138.69	138.51	138.34
3500	138.16	137.98	137.81	137.63	137.45	137.28	137.10	136.92	136.75	136.57
3600	136.40	136.22	136.05	135.87	135.70	135.52	135.35	135.18	135.00	134.83
3700	134.65	134.48	134.31	134.14	133.96	133.79	133.62	133.45	133.27	133.10
3800	132.93	132.76	132.59	132.42	132.25	132.08	131.90	131.73	131.56	131.39
3900	131.23	131.06	130.89	130.72	130.55	130.38	130.21	130.04	129.87	129.71
4000	129.54	129.37	129.20	129.04	128.87	128.70	128.54	128.37	128.20	128.04
4100	127.87	127.70	127.54	127.37	127.21	127.04	126.88	126.71	126.55	126.38
4200	126.22	126.06	125.89	125.73	125.56	125.40	125.24	125.08	124.91	124.75
4300	124.59	124.43	124.26	124.10	123.94	123.78	123.62	123.46	123.29	123.13
4400	122.97	122.81	122.65	122.49	122.33	122.17	122.01	121.85	121.69	121.54
4500	121.38	121.22	121.06	120.90	120.74	120.58	120.43	120.27	120.11	119.95
4600	119.80	119.64	119.48	119.33	119.17	119.01	118.86	118.70	118.55	118.39
4700	118.24	118.08	117.93	117.77	117.62	117.46	117.31	117.15	117.00	116.84
4800	116.69	116.54	116.38	116.23	116.08	115.93	115.77	115.62	115.47	115.32
4900	115.16	115.01	114.86	114.71	114.56	114.41	114.26	114.10	113.95	113.80

Tableau 1. Pression partielle de l'oxygène en fonction de l'altitude (mbar)
Calculée selon la formule de Uttinger.

Alt.	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	212.28	212.02	211.77	211.52	211.27	211.02	210.77	210.52	210.27	210.02
100	209.77	209.52	209.27	209.02	208.78	208.53	208.28	208.03	207.78	207.54
200	207.29	207.04	206.80	206.55	206.30	206.06	205.81	205.57	205.32	205.08
300	204.83	204.59	204.34	204.10	203.86	203.61	203.37	203.13	202.88	202.64
400	202.40	202.16	201.92	201.67	201.43	201.19	200.95	200.71	200.47	200.23
500	199.99	199.75	199.51	199.27	199.03	198.79	198.56	198.32	198.08	197.84
600	197.60	197.37	197.13	196.89	196.66	196.42	196.18	195.95	195.71	195.48
700	195.24	195.01	194.77	194.54	194.30	194.07	193.83	193.60	193.37	193.13
800	192.90	192.67	192.43	192.20	191.97	191.74	191.51	191.28	191.04	190.81
900	190.58	190.35	190.12	189.89	189.66	189.43	189.20	188.97	188.74	188.52
1000	188.29	188.06	187.83	187.60	187.38	187.15	186.92	186.69	186.47	186.24
1100	186.01	185.79	185.56	185.34	185.11	184.89	184.66	184.44	184.21	183.99
1200	183.76	183.54	183.32	183.09	182.87	182.65	182.42	182.20	181.98	181.76
1300	181.54	181.31	181.09	180.87	180.65	180.43	180.21	179.99	179.77	179.55
1400	179.33	179.11	178.89	178.67	178.45	178.23	178.02	177.80	177.58	177.36
1500	177.14	176.93	176.71	176.49	176.28	176.06	175.84	175.63	175.41	175.20
1600	174.98	174.77	174.55	174.34	174.12	173.91	173.69	173.48	173.27	173.05
1700	172.84	172.63	172.41	172.20	171.99	171.78	171.57	171.35	171.14	170.93
1800	170.72	170.51	170.30	170.09	169.88	169.67	169.46	169.25	169.04	168.83
1900	168.62	168.41	168.20	167.99	167.79	167.58	167.37	167.16	166.96	166.75
2000	166.54	166.34	166.13	165.92	165.72	165.51	165.31	165.10	164.89	164.69
2100	164.48	164.28	164.08	163.87	163.67	163.46	163.26	163.06	162.85	162.65
2200	162.43	162.23	162.04	161.84	161.64	161.44	161.24	161.03	160.83	160.63
2300	160.43	160.23	160.03	159.83	159.63	159.43	159.23	159.03	158.83	158.63
2400	158.44	158.24	158.04	157.84	157.64	157.44	157.25	157.05	156.85	156.66
2500	156.46	156.26	156.07	155.87	155.67	155.48	155.28	155.09	154.89	154.70
2600	154.50	154.31	154.11	153.92	153.73	153.53	153.34	153.15	152.95	152.76
2700	152.57	152.37	152.18	151.99	151.80	151.61	151.42	151.22	151.03	150.84
2800	150.65	150.46	150.27	150.08	149.89	149.70	149.51	149.32	149.13	148.94
2900	148.75	148.57	148.38	148.19	148.00	147.81	147.63	147.44	147.25	147.06
3000	146.88	146.69	146.50	146.32	146.13	145.95	145.76	145.57	145.39	145.20
3100	145.02	144.83	144.65	144.46	144.28	144.10	143.91	143.73	143.55	143.36
3200	143.18	143.00	142.81	142.63	142.45	142.27	142.09	141.90	141.72	141.54
3300	141.36	141.18	141.00	140.82	140.64	140.46	140.28	140.10	139.92	139.74
3400	139.56	139.38	139.20	139.02	138.84	138.66	138.49	138.31	138.13	137.95
3500	137.78	137.60	137.42	137.24	137.07	136.89	136.71	136.54	136.36	136.19
3600	136.01	135.84	135.66	135.49	135.31	135.14	134.96	134.79	134.61	134.44
3700	134.26	134.09	133.92	133.74	133.57	133.40	133.23	133.05	132.88	132.71
3800	132.54	132.37	132.19	132.02	131.85	131.68	131.51	131.34	131.17	131.00
3900	130.83	130.66	130.49	130.32	130.15	129.98	129.81	129.64	129.47	129.30
4000	129.14	128.97	128.80	128.63	128.46	128.30	128.13	127.96	127.80	127.63
4100	127.46	127.30	127.13	126.96	126.80	126.63	126.47	126.30	126.14	125.97
4200	125.81	125.64	125.48	125.31	125.15	124.98	124.82	124.66	124.49	124.33
4300	124.17	124.00	123.84	123.68	123.52	123.35	123.19	123.03	122.87	122.71
4400	122.54	122.38	122.22	122.06	121.90	121.74	121.58	121.42	121.26	121.10
4500	120.94	120.78	120.62	120.46	120.30	120.14	119.99	119.83	119.67	119.51
4600	119.35	119.20	119.04	118.88	118.72	118.57	118.41	118.25	118.10	117.94
4700	117.78	117.63	117.47	117.31	117.16	117.00	116.85	116.69	116.54	116.38
4800	116.23	116.07	115.92	115.77	115.61	115.46	115.30	115.15	115.00	114.84
4900	114.69	114.54	114.39	114.23	114.08	113.93	113.78	113.63	113.47	113.32

Tableau 2. Pression partielle de l'oxygène en fonction de l'altitude (mbar)
Calculée selon la formule de l'OACI.

Alt.	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	1017.50	1016.29	1015.07	1013.85	1012.64	1011.42	1010.21	1009.00	1007.79	1006.58
100	1005.37	1004.16	1002.96	1001.75	1000.55	999.35	998.15	996.95	995.75	994.55
200	993.36	992.16	990.97	989.78	989.59	987.40	986.21	985.02	983.83	982.65
300	981.47	980.28	979.10	977.92	976.74	975.56	974.39	973.21	972.04	970.87
400	969.69	968.52	967.35	966.19	965.02	963.85	962.69	961.52	960.36	959.20
500	958.04	956.88	955.72	954.57	953.41	952.26	951.11	949.95	948.80	947.65
600	946.51	945.36	944.21	943.07	941.92	940.78	939.64	938.50	937.36	936.22
700	935.09	933.95	932.82	931.69	930.55	929.42	928.29	927.16	926.04	924.91
800	923.79	922.66	921.54	920.42	919.30	918.18	917.06	915.94	914.83	913.71
900	912.60	911.49	910.38	909.27	908.16	907.05	905.94	904.84	903.73	902.63
1000	901.53	900.43	899.33	898.23	897.13	896.03	894.94	893.85	892.75	891.66
1100	890.57	889.48	888.39	887.30	886.22	885.13	884.05	882.97	881.88	880.80
1200	879.72	878.64	877.57	876.49	875.42	874.34	873.27	872.20	871.13	870.06
1300	868.99	867.92	866.85	865.79	864.73	863.66	862.60	861.54	860.48	859.42
1400	858.36	857.31	856.25	855.20	854.15	853.09	852.04	850.99	849.94	848.90
1500	847.85	846.80	845.76	844.72	843.67	842.63	841.59	840.55	839.52	838.48
1600	837.44	836.41	835.38	834.34	833.31	832.28	831.25	830.22	829.20	828.17
1700	827.15	826.12	825.10	824.08	823.06	822.04	821.02	820.00	818.99	817.97
1800	816.96	815.94	814.93	813.92	812.91	811.90	810.89	809.89	808.88	807.88
1900	806.87	805.87	804.87	803.87	802.87	801.87	800.87	799.88	798.88	797.89
2000	796.89	795.90	794.91	793.92	792.93	791.94	790.96	789.97	788.98	788.00
2100	787.02	786.04	785.06	784.08	783.10	782.12	781.14	780.17	779.19	778.22
2200	777.25	776.27	775.30	774.33	773.37	772.40	771.43	770.47	769.50	768.54
2300	767.58	766.62	765.66	764.70	763.74	762.78	761.82	760.87	759.92	758.96
2400	758.01	757.06	756.11	755.16	754.21	753.26	752.32	751.37	750.43	749.49
2500	748.54	747.60	746.66	745.72	744.79	743.85	742.91	741.98	741.04	740.11
2600	739.18	738.25	737.32	736.39	735.46	734.53	733.61	732.68	731.76	730.83
2700	729.91	728.99	728.07	727.15	726.23	725.31	724.40	723.48	722.57	721.65
2800	720.74	719.83	718.92	718.01	717.10	716.19	715.29	714.38	713.48	712.57
2900	711.67	710.77	709.87	708.97	708.07	707.17	706.27	705.38	704.48	703.59
3000	702.70	701.80	700.91	700.02	699.13	698.24	697.36	696.47	695.59	694.70
3100	693.82	692.93	692.05	691.17	690.29	689.41	688.54	687.66	686.78	685.91
3200	685.03	684.16	683.29	682.42	681.55	680.68	679.81	678.94	678.07	677.21
3300	676.34	675.48	674.62	673.76	672.89	672.03	671.18	670.32	669.46	668.60
3400	667.75	666.89	666.04	665.19	664.34	663.48	662.63	661.79	660.94	660.09
3500	659.24	658.40	657.55	656.71	655.87	655.03	654.19	653.35	652.51	651.67
3600	650.83	650.00	649.16	648.33	647.49	646.66	645.83	645.00	644.17	643.34
3700	642.51	641.68	640.86	640.03	639.21	638.38	637.56	636.74	635.92	635.10
3800	634.28	633.46	632.64	631.83	631.01	630.20	629.38	628.57	627.76	626.95
3900	626.14	625.33	624.52	623.71	622.91	622.10	621.30	620.49	619.69	618.89
4000	618.09	617.28	616.48	615.69	614.89	614.09	613.30	612.50	611.71	610.91
4100	610.12	609.33	608.54	607.75	606.96	606.17	605.38	604.60	603.81	603.03
4200	602.24	601.46	600.68	599.89	599.11	598.33	597.56	596.78	596.00	595.22
4300	594.45	593.67	592.90	592.13	591.36	590.59	589.82	589.05	588.28	587.51
4400	586.74	585.98	585.21	584.45	583.68	582.92	582.16	581.40	580.64	579.88
4500	579.12	578.36	577.61	576.85	576.10	575.34	574.59	573.84	573.08	572.33
4600	571.58	570.83	570.08	569.34	568.59	567.84	567.10	566.36	565.61	564.87
4700	564.13	563.39	562.65	561.91	561.17	560.43	559.69	558.96	558.22	557.49
4800	556.76	556.02	555.29	554.56	553.83	553.10	552.37	551.64	550.92	550.19
4900	549.46	548.74	548.02	547.29	546.57	545.85	545.13	544.41	543.69	542.97

Tableau 3. Pression atmosphérique totale (mbar) calculée selon la formule de Uttinger.

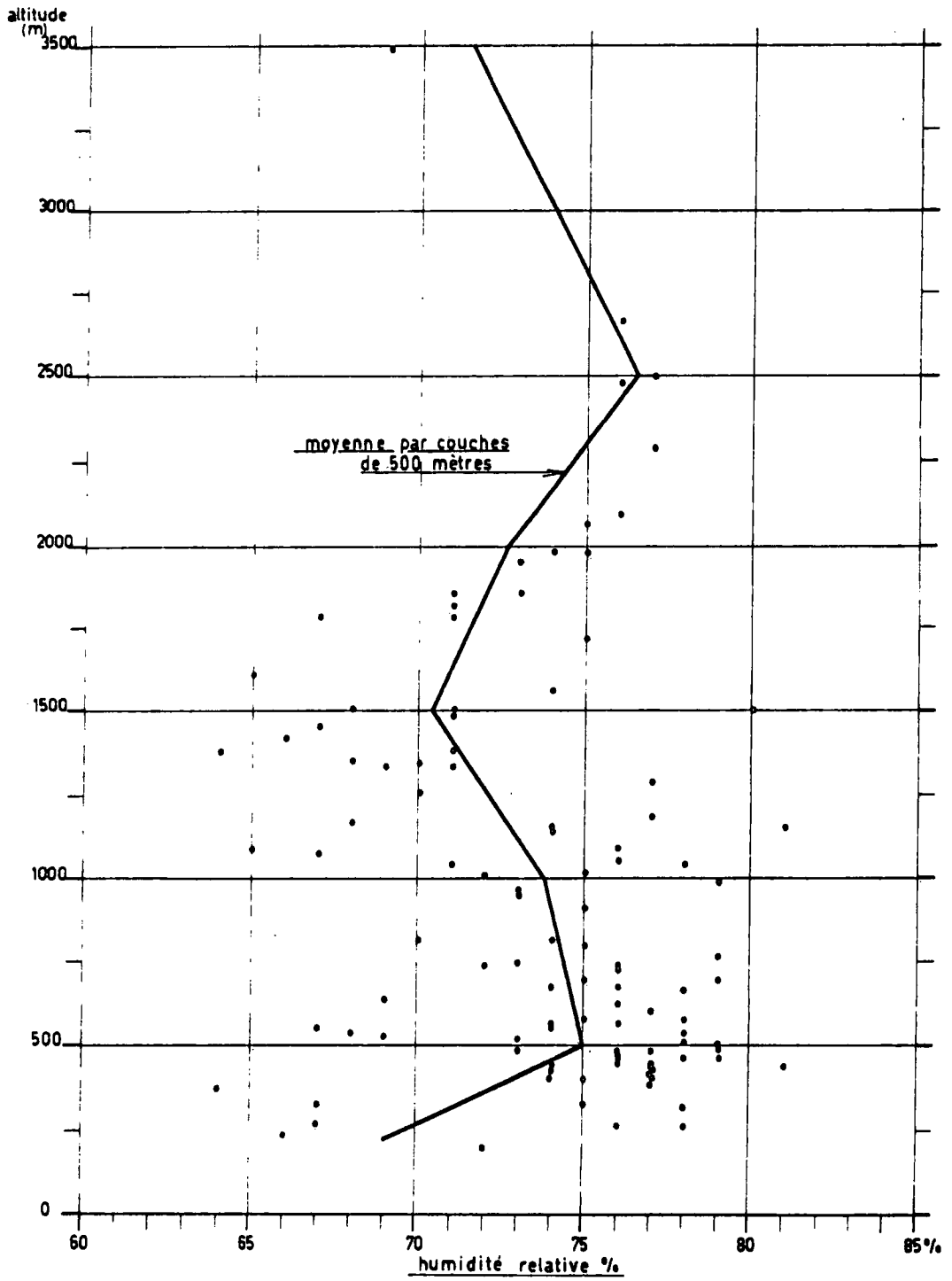


Fig. 1. Humidités relatives moyennes (1931-1960)

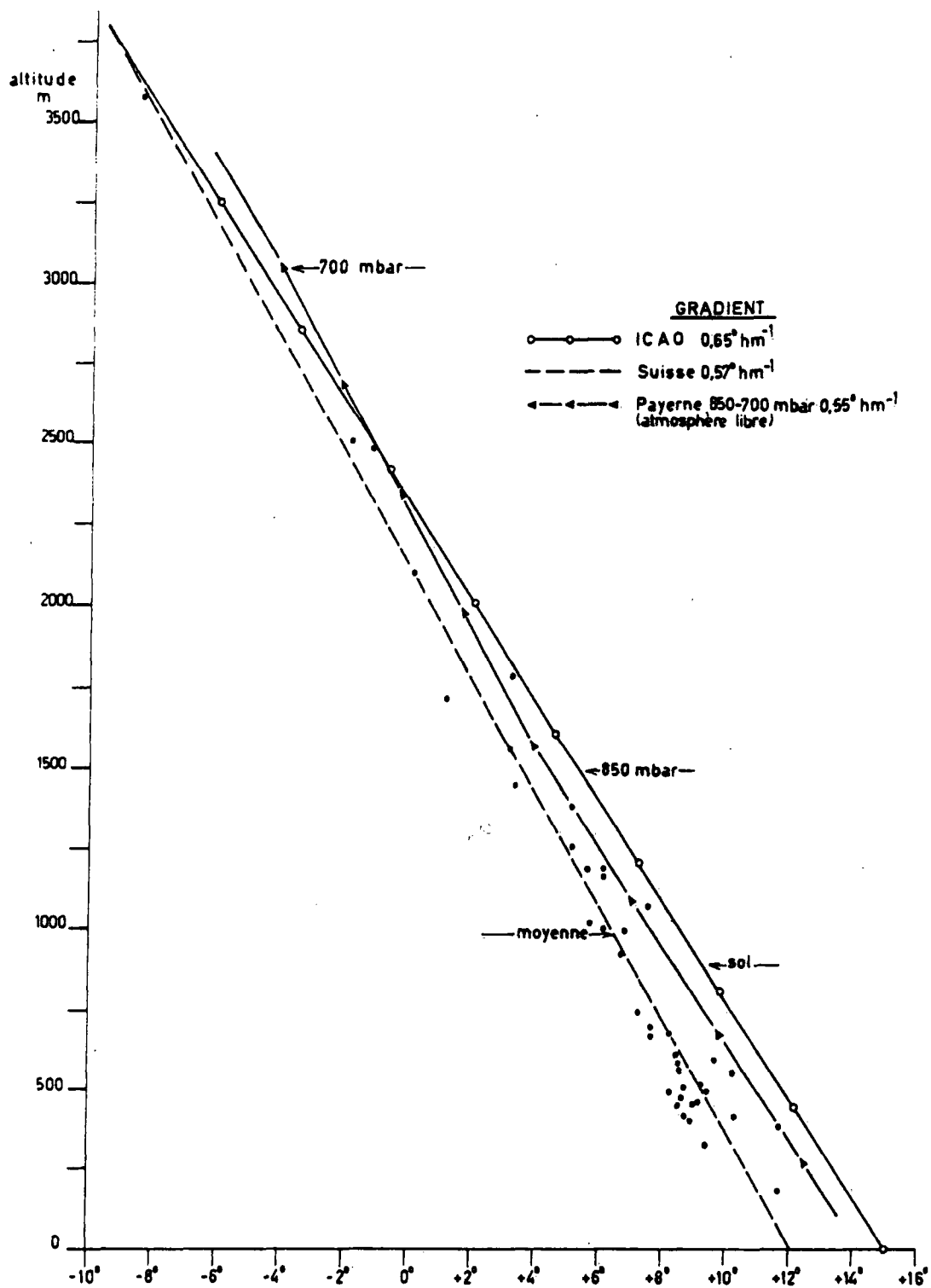


Fig. 2. Températures moyennes annuelles des stations suisses en regard de différentes atmosphères

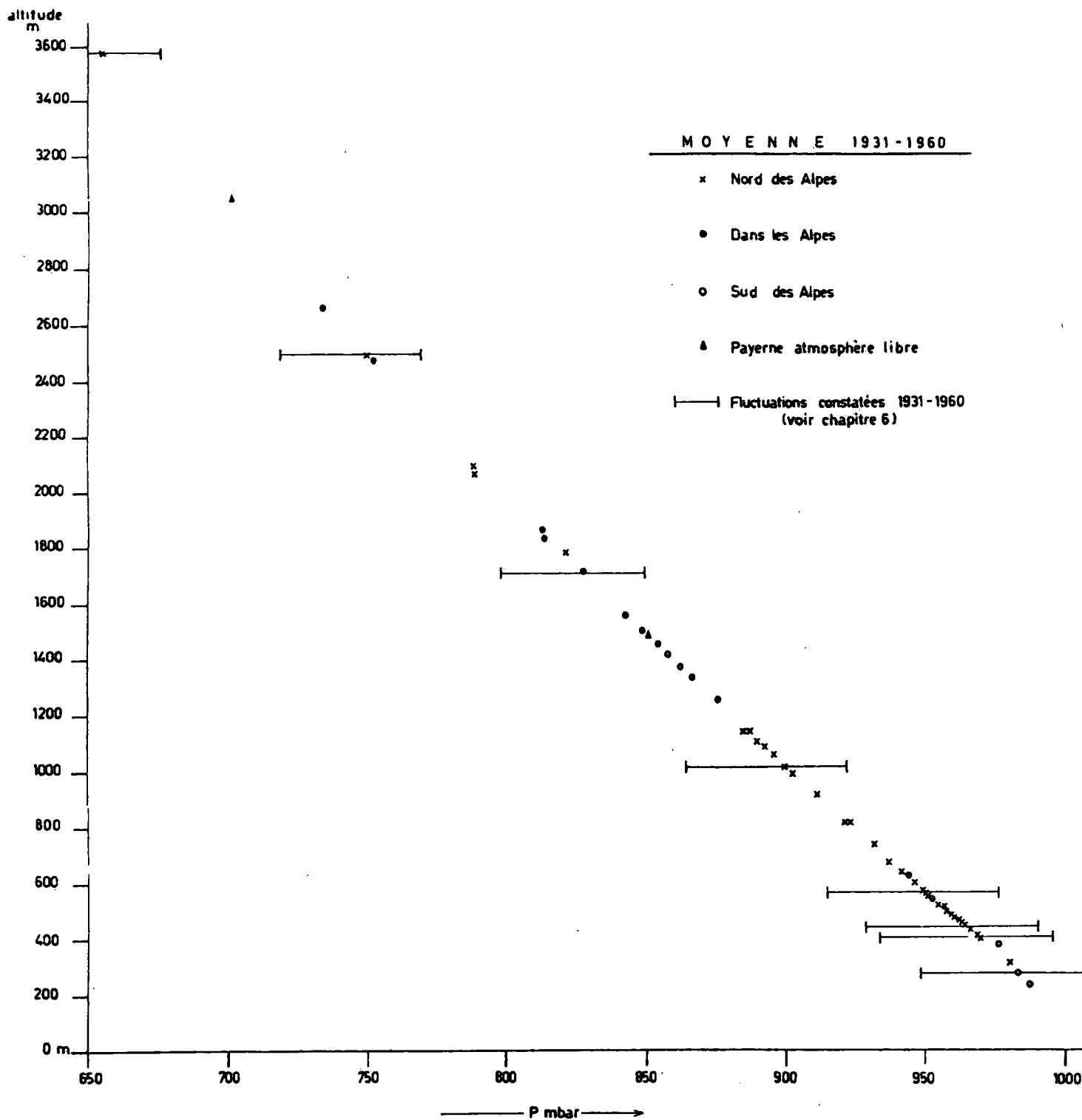


Fig. 3. Pressions moyennes suisses en fonction de l'altitude.

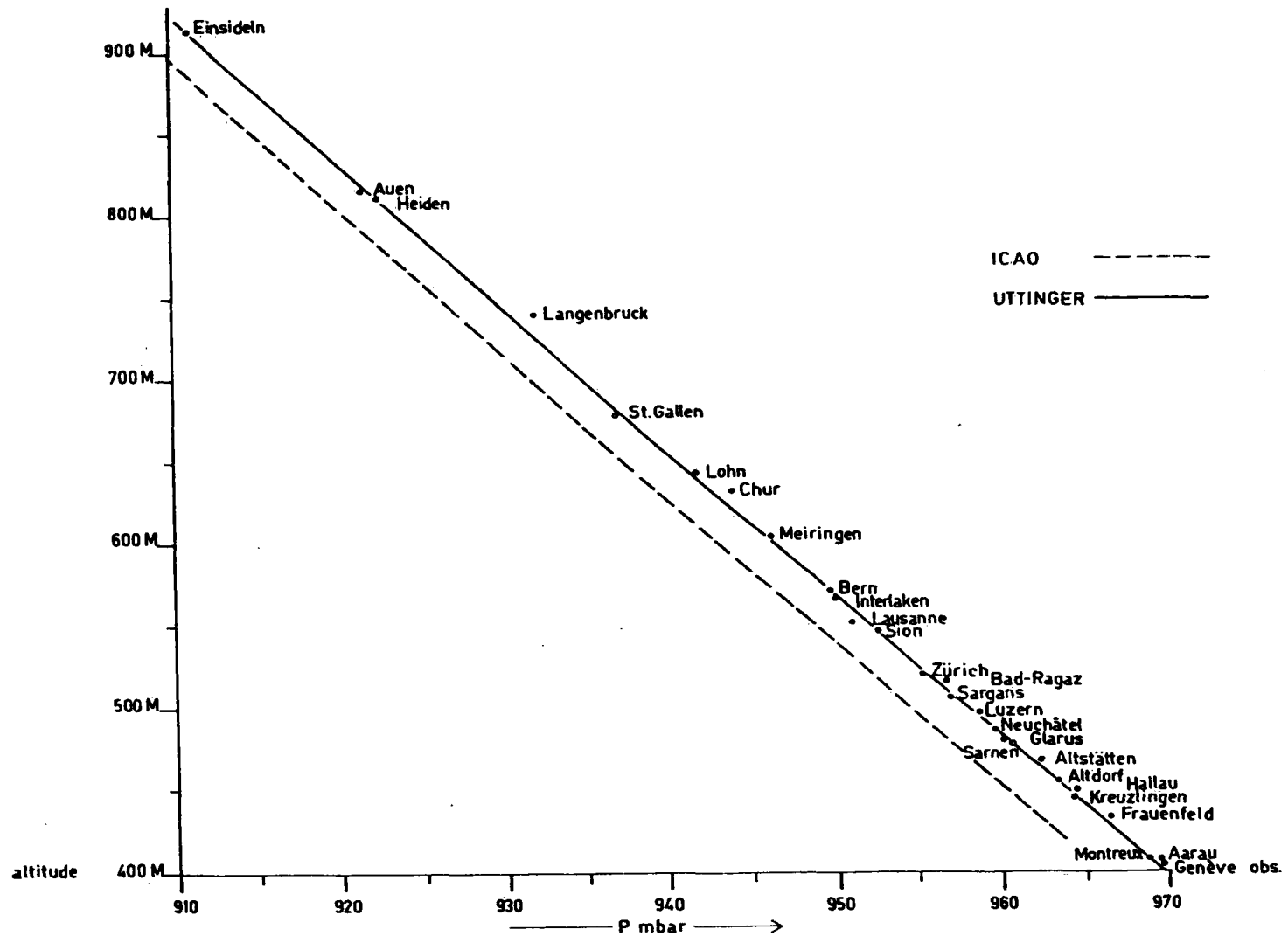


Fig.4. Pressions annuelles moyennes et atmosphères types (1ère tranche)

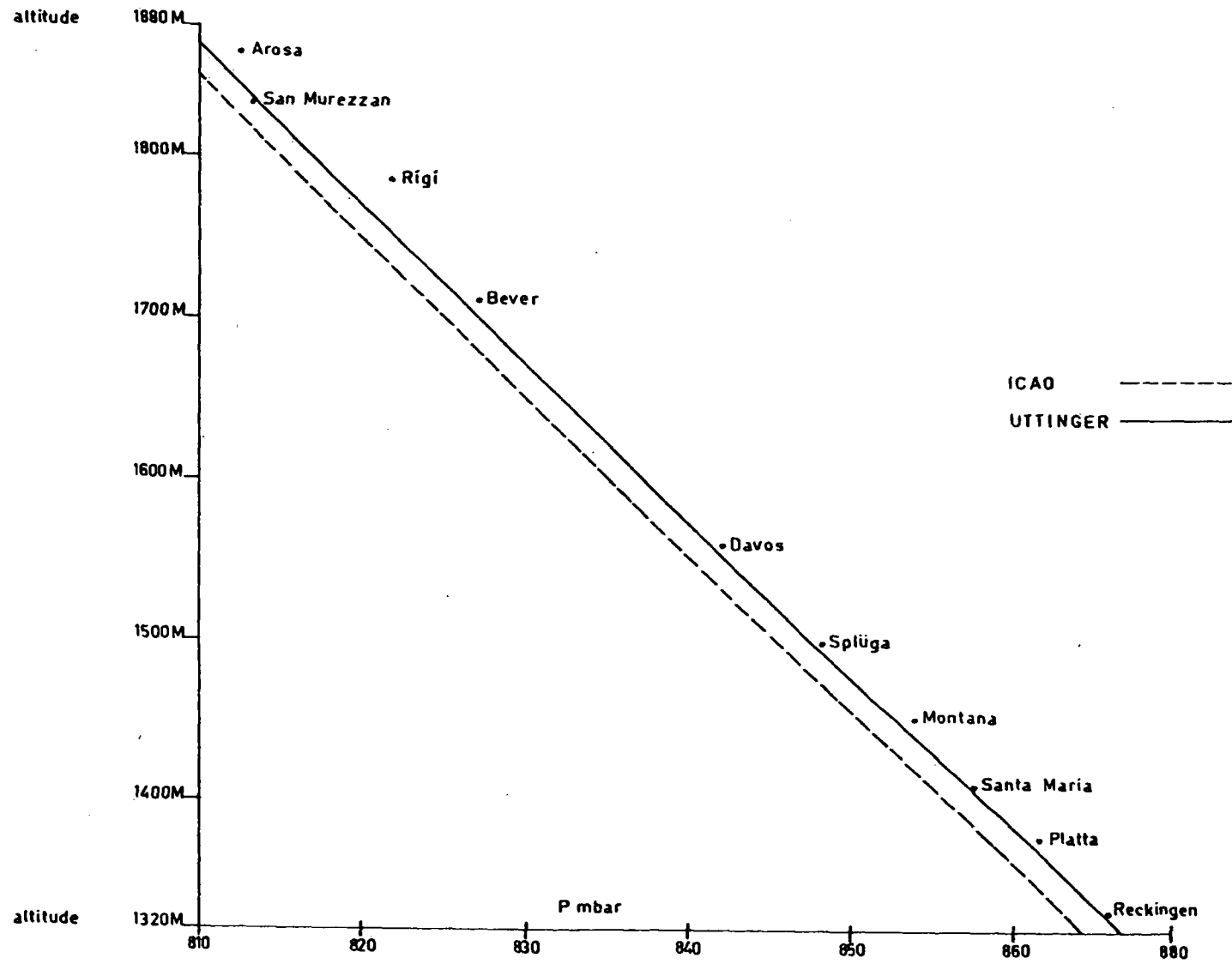


Fig. 5. Pressions annuelles moyennes et atmosphères types (2ème tranche)

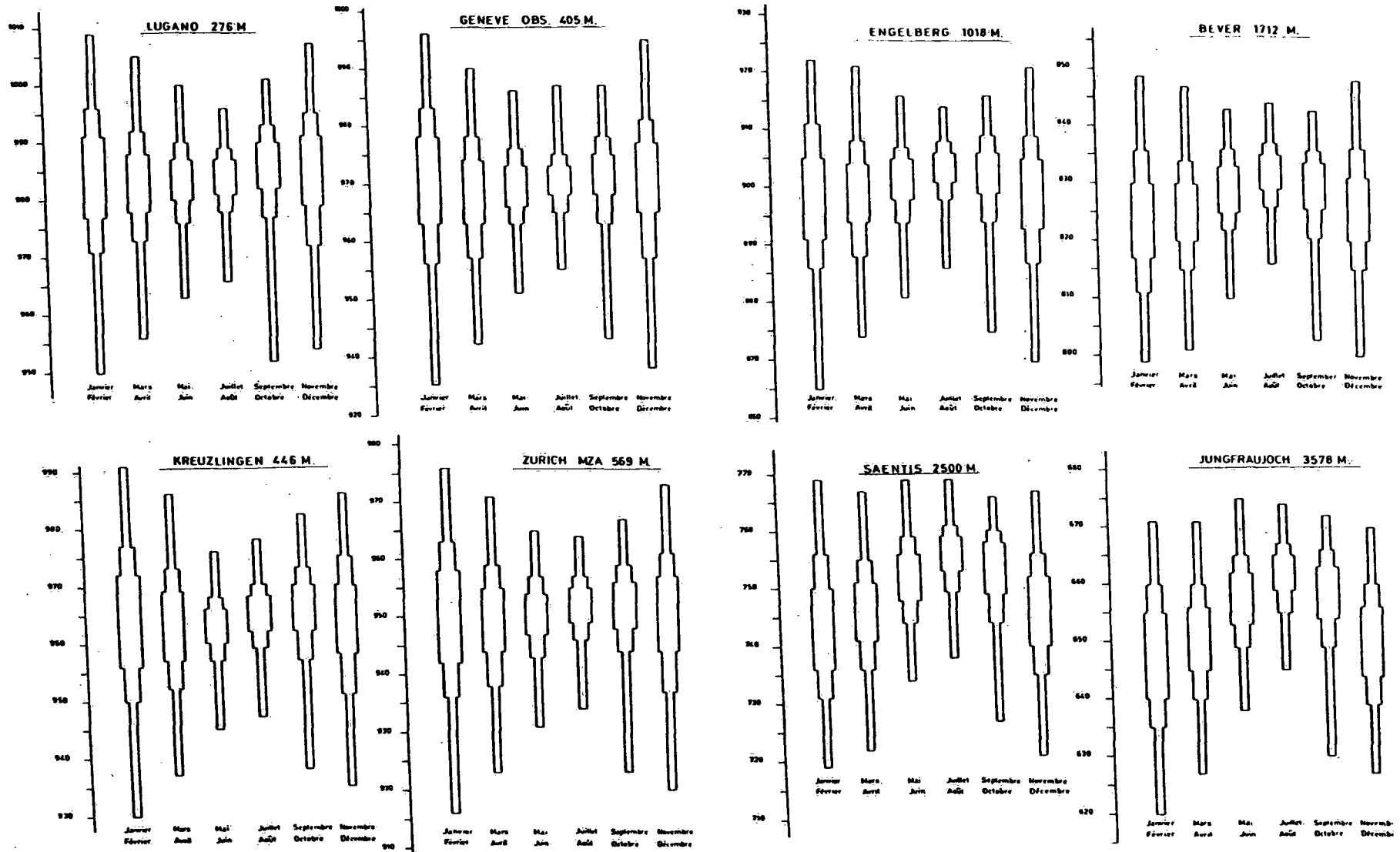


Fig. 6. Fluctuations naturelles de la pression (3 relevés par jour) de 1931 à 1960.

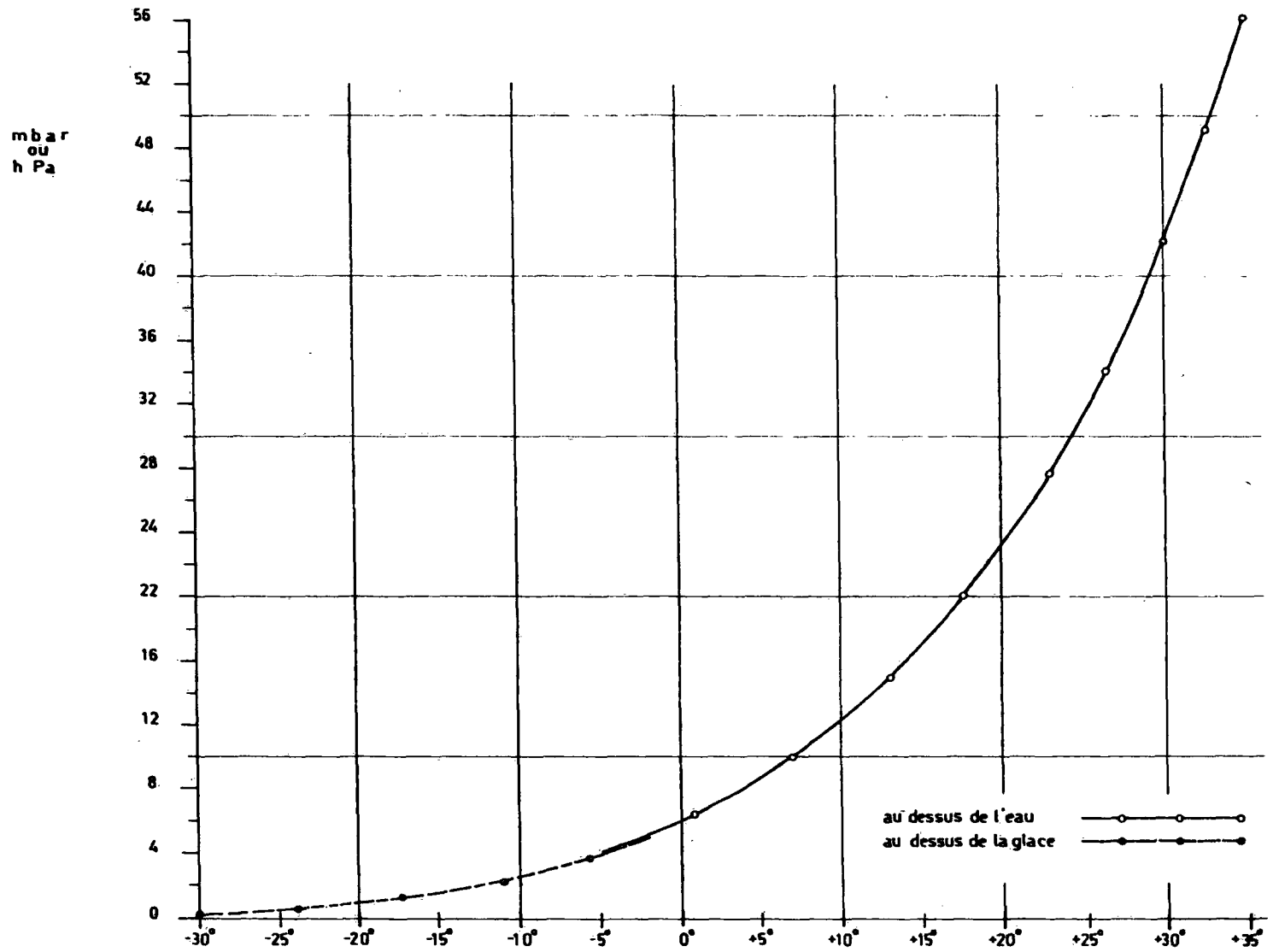


Fig. 7. Pression de vapeur saturante en fonction de la température.

