Contribution à l'étude de l'insolation à Neuchâtel

Autor(en): **Sneyers, Raymond**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles**

Band (Jahr): **71 (1948)**

PDF erstellt am: **17.07.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-88792

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE L'INSOLATION A NEUCHATEL

par

RAYMOND SNEYERS

Dans son ouvrage intitulé : *Variations séculaires des éléments météorologiques à Neuchâtel* (cf. ***2***[1]), M. Edmond Guyot donne à la page 41 une formule qui, si l'on convient de désigner par ΔD et ΔU respectivement les écarts annuels de la durée d'insolation et de la valeur moyenne de l'humidité relative de l'air autour de leurs valeurs normales (période 1902-1930), peut s'écrire :

$$\Delta D = -95\,\Delta U + 4{,}5 \tag{1}$$

Cette formule, trouvée à l'aide d'une méthode de groupement des données statistiques, fait connaître ΔD en signe 9 fois sur 10 avec une erreur quadratique moyenne égale à environ 56 % de la moyenne quadratique de ΔD.

Dans un autre travail (cf. ***4***), M. Guyot, en collaboration avec M. Ch. Godet, a étudié notamment l'influence de l'insolation sur la vigne. Or, les statistiques du rendement de la vigne remontent jusqu'à 1871, tandis que les mesures de l'insolation ne se font que depuis 1902. Comme l'humidité relative est observée depuis 1864, la formule (1) permet d'obtenir des indications sur l'insolation des années antérieures à 1902. Le champ d'investigations pour des recherches de climatologie agricole s'en trouve ainsi élargi.

Il est évidemment intéressant de chercher à améliorer le calcul de ΔD et de déterminer dans quelle mesure cette amélioration est possible. C'est à ce problème que nous nous sommes attaché dans la présente étude.

Une relation linéaire déjà meilleure peut être obtenue en appliquant aux données statistiques de ΔD et ΔU la méthode des moindres carrés. La formule est alors :

$$\Delta D = -73{,}5\,\Delta U \tag{2}$$

mais l'erreur quadratique diminue à peine de 4 %.

Si l'on fait la représentation graphique des points de coordonnées (ΔU, ΔD) pour les années 1902 à 1930, on obtient alors un nuage de

[1] Les chiffres italiques mi-gras renvoient à la liste bibliographique placée à la fin du mémoire.

points pour lequel la droite d'équation (1) joue à peu près le rôle d'axe de symétrie. Aucune diminution nouvelle de l'erreur quadratique ne doit donc être espérée de la substitution à la formule (2) d'une relation de degré supérieur à l'unité.

L'idée que des durées d'insolation pendant des époques différentes de l'année ont certainement des effets différents sur l'humidité relative nous a aussi conduit à calculer une relation du type (2) pour chaque mois de l'année. Mais ici encore le résultat est négatif, puisque les totaux annuels ainsi obtenus s'écartent davantage des totaux observés.

Il est donc clair qu'un nouveau progrès dans le calcul de ΔD ne pourra être atteint qu'à la condition de s'adresser à d'autres variables météorologiques. Le choix de ces variables doit naturellement s'appuyer sur une étude plus approfondie de l'effet de l'insolation sur les masses d'air.

A cet effet, considérons un système formé par une masse d'air humide dans laquelle nous supposerons qu'il ne se produit ni évaporation, ni condensation. Il en résulte que le rapport de mélange sera constant et que l'humidité relative U de la masse d'air sera une fonction d'état de cette dernière, c'est-à-dire une fonction différentiable des variables auxquelles le système formé par la masse d'air est rapporté.

En outre, comme les masses d'air se déplacent grosso modo suivant les lignes isobariques, nous pouvons nous placer dans le cas de transformations à pression constante. Le système envisagé est donc un système à une variable et si la variable choisie est la température T, pour l'humidité relative du système, on aura une relation de la forme:

$$\mathrm{U} = f(\mathrm{T}) \tag{3}$$

où f(T) désigne une fonction dérivable.

La chaleur fournie au système est alors égale à l'accroissement de l'enthalpie H (cf. *8* 7. c). Cette dernière quantité est aussi une fonction d'état. Il s'ensuit que, si T est la température initiale et si A désigne l'amplitude de la variation de température déterminée par la quantité Q de chaleur reçue, on aura le long de la transformation envisagée, l'égalité :

$$\mathrm{Q} = \mathrm{H}(\mathrm{T} + \mathrm{A}) - \mathrm{H}(\mathrm{T}) \tag{4}$$

relation que nous écrirons plus simplement sous la forme:

$$\mathrm{Q} = \mathrm{F}(\mathrm{T}, \mathrm{A}) \tag{5}$$

Comme c'est la nébulosité N qui règle l'insolation le jour et le phénomène de rayonnement la nuit, nous admettrons que les échanges de chaleur auxquels est soumis le système envisagé dépendent uniquement de la nébulosité. Si D et D′ désignent alors respectivement la durée d'insolation effective et la durée possible, et si on mesure la nébulosité N en dixièmes, on aura avec une certaine approximation :

$$N = 1 - \frac{D}{D'} \qquad (6)$$

La relation (6) conduit ainsi à envisager une relation de la forme :

$$F_1(D) = F(T, A) \qquad (7)$$

où nous supposerons la fonction $F_1(D)$ dérivable.

Soient alors respectivement D_0, T_0 et A_0 des valeurs de D, T et A vérifiant l'équation (7) et posons les relations :

$$\Delta D = D - D_0\,; \qquad \Delta T = T - T_0\,; \qquad \Delta A = A - A_0 \qquad (8)$$

Dans ce cas, pour des valeurs petites des quantités (8), la relation (7) sera équivalente à une relation linéaire de la forme :

$$\Delta D = a\Delta T + b\Delta A \qquad (9)$$

où les constantes a et b dépendront uniquement de D_0, T_0 et A_0.

En vertu des propriétés des relations linéaires, la relation (9) sera vérifiée par les valeurs moyennes de ΔD, ΔT et ΔA et par conséquent aussi par les normales qu'on en déduit. On peut donc supposer que D, T et A désignent des moyennes et que D_0, T_0 et A_0 sont les normales respectives de ces variables. Les quantités (8) seront donc les déviations des moyennes autour des normales.

On peut aussi résoudre l'équation (3) par rapport à T et rapporter ainsi le système à la variable U. Un raisonnement analogue au précédent fournira alors une équation de la forme :

$$\Delta D = a'\Delta U + b'\Delta B \qquad (9')$$

où la lettre B désigne l'amplitude de la variation de l'humidité relative.

Deux causes d'erreur sont à relever dans le raisonnement précédent. La première se trouve dans la formule (6) qui n'est pas exactement vérifiée. En effet, il est bien connu, par exemple, que lorsque le temps est déterminé par des masses d'air instables d'origine maritime, à des ciels nuageux à très nuageux, avec risques d'averses le jour, succèdent la nuit des ciels s'éclaircissant progressivement jusqu'à devenir sereins.

La seconde réside dans le fait que la quantité de chaleur reçue pendant le jour ne dépend pas uniquement de la durée d'insolation, mais aussi de la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon, avec laquelle cette insolation se produit. Les relations (9) et (9′) ne sont donc que des relations approchées.

Maintenant, d'une part, dans le cas général, le rapport de mélange n'est pas constant, et, d'autre part, les statistiques que nous voulions mettre à profit étaient muettes quant aux valeurs de la variable B. Nous appuyant alors sur le fait que la nature des masses d'air dépend de leur source (cf. *7*), que l'arrivée des masses d'air maritime sur le continent est généralement commandée par des cyclones qui viennent s'y combler, tandis que dans les anticyclones les masses d'air prennent souvent le caractère continental, nous avons porté notre attention sur des relations de la forme :

$$\Delta D = a\Delta U + b\Delta P \tag{10}$$

$$\Delta D = a'\Delta T + b'\Delta A + c'\Delta P \tag{10'}$$

$$\Delta D = a_1\Delta U + a_2\Delta T + a_3\Delta A + a_4\Delta P \tag{11}$$

où P désigne la pression moyenne.

Avant de passer au calcul de l'une quelconque des relations (10), (10′) ou (11), il convient de faire la critique des données statistiques des variables qu'elles contiennent.

A cet effet, rappelons que si e est l'erreur quadratique moyenne relative à une série de n mesures, l'erreur probable commise sur la moyenne arithmétique de ces mesures sera (cf. *6*, p. 44) :

$$\pm\, 0{,}6745 \frac{e}{\sqrt{n}}$$

En prenant le triple de cette erreur, soit environ

$$\frac{2e}{\sqrt{n}}$$

on peut espérer obtenir une borne supérieure de l'erreur effectivement commise.

Pour T, A et P, les mesures instantanées sont faites à 2-3 dixièmes près. De ce fait, les moyennes mensuelles étant calculées à partir de 30 mesures au moins, la première décimale de ces moyennes est significative. Pour les moyennes annuelles, l'erreur commise sera inférieure à un demi-dixième.

Pour U et B, calculés à partir d'observations faites avec le thermomètre sec et le thermomètre humide, on admet en général une erreur de 3 à 5 unités. Il est donc justifié de présenter les statistiques mensuelles de ces variables en nombres entiers et de garder la première décimale des moyennes annuelles.

Dans les mesures de D, généralement faites avec l'héliographe de Campbell-Stokes, l'arrondissement au minimum de 5 min pour les périodes d'insolation (cf. *5*, p. 187), l'appréciation des durées elles-mêmes peuvent introduire des erreurs qui, en une journée, atteignent plusieurs dizaines de minutes. Il en résulte que les totaux mensuels sont généralement entachés d'une erreur de l'ordre de plusieurs heures, tandis que pour les totaux annuels cette erreur peut s'élever à quelques dizaines d'heures. Il est donc naturel de présenter les mesures mensuelles de D en nombres entiers d'heures et de ne lire les totaux annuels qu'en dizaines.

Application aux statistiques des variables météorologiques de Neuchâtel
(Période 1902-1930)

Ces statistiques (cf. *2*) comportent notamment les moyennes mensuelles et annuelles de l'humidité relative, de l'amplitude de la variation diurne de la température, de la température et de la pression. Ce sont ces données que nous avons prises comme valeurs des variables U, A, T et P. Les unités de mesure sont le % pour U, le °C pour A et T, et le mm de Hg pour P. Les moyennes sont toutes calculées au dixième près, sauf pour les moyennes mensuelles de U, qui sont données à l'unité près. Les moyennes de la variation diurne de l'humidité relative étant absentes, il nous a fallu abandonner la variable B.

Nous avons limité nos recherches aux statistiques annuelles et à celles du mois de juillet.

Pour l'insolation annuelle, nous avons trouvé pour ΔD exprimé en dizaines d'heures les formules suivantes :

$$\Delta D = -\,7{,}56\,\Delta U \tag{1}$$

$$\Delta D = -\,7{,}18\,\Delta U + 2{,}94\,\Delta P \tag{2}$$

$$\Delta D = 26{,}50\,\Delta A + 2{,}57\,\Delta T - 2{,}95\,\Delta P \tag{3}$$

$$\Delta D = -\,5{,}02\,\Delta U + 10{,}61\,\Delta A + 1{,}58\,\Delta T - 0{,}13\,\Delta P \tag{4}$$

Ces formules donnent ΔD avec des erreurs quadratiques moyennes respectivement égales à

51 ; 50 ; 55 et 46 %

de la déviation standard.

La dernière formule apporte donc une diminution de 10 % de l'erreur quadratique par rapport à la formule trouvée par M. Guyot et une diminution de 5 % par rapport à la première. Comme la déviation standard est égale à 10,5 % de la normale, cette erreur quadratique représente 4,8 % de cette normale, tandis que la diminution de cette erreur, en passant de la formule (1) à la formule (4), en vaut 0,5 %.

Pour le mois de juillet, les équations suivantes :

$$\Delta D = -\,7{,}63\,\Delta U \tag{5}$$

$$\Delta D = -\,5{,}79\,\Delta U + 12{,}64\,\Delta P \tag{6}$$

$$\Delta D = 13{,}52\,\Delta A + 6{,}12\,\Delta T + 15{,}43\,\Delta P \tag{7}$$

$$\Delta D = -\,3{,}28\,\Delta U + 5{,}96\,\Delta A + 4{,}94\,\Delta T + 10{,}56\,\Delta P \tag{8}$$

donnent ΔD en heures entières avec des erreurs standard respectivement égales à

$$33\,; \qquad 29\,; \qquad 28 \qquad \text{et} \qquad 23\ \%$$

de l'écart standard.

Cette fois, la diminution de l'erreur quadratique, en passant de la formule (5) à la formule (8), est égale à 10 % et comme l'écart standard vaut 19,6 % de la normale, la dernière erreur et la diminution par rapport à la première valent respectivement 4,4 et 2 % de cette normale.

Il semble donc que notre théorie s'applique mieux au mois de juillet qu'à l'année entière. Mais si l'on veut bien remarquer que dans les deux cas l'erreur standard est quasi proportionnelle à la normale de la durée d'insolation (4,8 et 4,4 %), on peut penser que l'on se trouve devant une erreur irréductible.

A l'origine de cette erreur il faut évidemment chercher l'hétérogénéité des variables que nous avons utilisées par rapport à celles prévues par cette théorie, ainsi que les erreurs d'observation. Mais il est fort probable que l'hétérogénéité de la variable D par rapport à la variable Q est responsable de la plus grande partie de cette erreur.

A la lueur de ce qui précède, on peut aussi s'attendre à ce que les valeurs calculées de D donnent une meilleure idée de la quantité de chaleur reçue que les valeurs observées de D. Pour le vérifier on peut se souvenir que les mois de juillet chauds sont particulièrement favorables au rendement de la vigne. Pour la période 1902-1930 (cf. *3*), le coefficient de corrélation entre la durée d'insolation observée et le rendement de la vigne s'élève à 0,464, tandis que les coefficients de corrélation entre ce rendement et les durées d'insolation données par les formules (5), (6), (7) et (8) sont respectivement :

$$0{,}508\,; \qquad 0{,}504\,; \qquad 0{,}528 \qquad \text{et} \qquad 0{,}528$$

Les relèvements du coefficient sont de l'ordre de l'erreur probable. Ils restent cependant intéressants à constater et laissent espérer que la connaissance de la quantité de chaleur effectivement reçue permettra d'obtenir un coefficient encore plus élevé.

Notons encore que les équations (1) à (8) ne donnent pas une idée claire de la corrélation qui lie les variables météorologiques envisagées, puisque les coefficients de ces équations dépendent des unités de mesure. On les rendra indépendantes de ces unités en les écrivant en variables standardisées [1].

Désignons par Δd, Δu, Δa, Δt et Δp les variables standardisées correspondant aux variables précédentes. Les équations (1) à (8) deviennent alors :

[1] On appelle variable standardisée le quotient d'une variable donnée par la moyenne quadratique des valeurs qu'elle prend. Les valeurs d'une variable standardisée sont donc indépendantes des unités de mesure.

$$\Delta d = -\,0{,}858\,\Delta u \qquad (1')$$

$$\Delta d = -\,0{,}814779\,\Delta u + 0{,}131750\,\Delta p \qquad (2')$$

$$\Delta d = 0{,}844034\,\Delta a + 0{,}080152\,\Delta t - 0{,}132267\,\Delta p \qquad (3')$$

$$\Delta d = -\,0{,}569412\,\Delta u + 0{,}337753\,\Delta a + 0{,}049416\,\Delta t - 0{,}005738\,\Delta p \qquad (4')$$

$$\Delta d = -\,0{,}944\,\Delta u \qquad (5')$$

$$\Delta d = -\,0{,}717040\,\Delta u + 0{,}280198\,\Delta p \qquad (6')$$

$$\Delta d = 0{,}432188\,\Delta a + 0{,}256438\,\Delta t + 0{,}342091\,\Delta p \qquad (7')$$

$$\Delta d = -\,0{,}405750\,\Delta u + 0{,}190480\,\Delta a + 0{,}207006\,\Delta t + 0{,}234033\,\Delta p \qquad (8')$$ [1]

On constate ainsi que pour l'année les coefficients de Δt et Δp sont petits ou négligeables devant ceux de Δu et Δa, mais que pour le mois de juillet ces coefficients ont au contraire le même ordre de grandeur que celui de Δa. On se souviendra à ce propos que si, en été, les anticyclones favorisent une large insolation à Neuchâtel, et que cette insolation détermine en grande partie les hausses de température, en hiver, ces mêmes anticyclones provoquent généralement le brouillard, tandis qu'alors les modifications de température dépendent surtout des changements de masse d'air.

En conclusion, le problème de l'amélioration du calcul de la durée d'insolation que nous nous étions posé, a reçu une réponse favorable. Cette amélioration semble limitée par une erreur irréductible, principalement due sans doute à l'hétérogénéité des variables d'observation par rapport aux variables théoriques. De nouvelles diminutions de l'erreur standard sont à prévoir lorsqu'on pourra utiliser des statistiques de l'amplitude de la variation diurne de l'humidité relative. Mais nous pensons que c'est de la substitution de mesures de la quantité de chaleur reçue à celle de la durée d'insolation qu'il faut attendre les résultats les meilleurs [2].

Uccle, le 27 novembre 1947.

[1] En pratique, ce sont les équations (1') à (8') que l'on calcule d'abord. Dans les équations (1') et (4') apparaissent les coefficients de corrélation entre D et U. Les coefficients des autres équations sont les solutions d'équations linéaires dont les constantes sont les coefficients de corrélation des variables D, U, A, T et P prises deux à deux. Ces solutions doivent être calculées avec une erreur négligeable devant un demi-millième, approximation avec laquelle les coefficients de corrélation ont été calculés. Ceci est suffisamment réalisé avec six décimales.

[2] En climatologie agricole, de telles mesures sont d'ailleurs indispensables. En Belgique, pour le rendement du froment d'hiver et la teneur en sucre de la betterave, c'est la radiation totale, mesurée à l'actinomètre de Bellani, qui donne les coefficients de corrélation les plus élevés (cf. *1*, p. 41 et 64).

BIBLIOGRAPHIE

1 **Berce, R. et Wilbaux, R. — (1935). Recherche statistique des relations existant entre le rendement des plantes de grande culture et les facteurs météorologiques en Belgique. *Bull. de l'Inst. agron. et des stations de recherches de Gembloux, Belgique* 4 n° 1.**

2 **Guyot, E. — (1932). Variations séculaires des éléments météorologiques à Neuchâtel. *Bull. Soc. neuch. Sc. nat.* 57: 5-44.**

3 — (1940). Calcul des coefficients de corrélation entre le rendement du vignoble neuchâtelois, la température et la durée d'insolation. *Bull. Soc. neuch. Sc. nat.* **65**: 5-15.

4 Guyot, E. et Godet, Ch. — (1935). Le climat et la vigne. *Annuaire agricole de la Suisse* **1935**: 17-68.

5 Kleinschmidt, E. — (1935). Handbuch der Meteorologischen Instrumente. *Berlin.* Julius Springer.

6 Rietz-Baur. — (1930). Handbuch der Mathematischen Statistik. *Leipzig u. Berlin.* Teubner.

7 Van Mieghem, J. — (1942). Frontogenèse et cyclogenèse sur l'Atlantique nord et l'Europe occidentale et centrale. *Inst. R. Mét. de Belgique.* Misc. fasc. **9**.

8 — (1943). Thermodynamique atmosphérique. *Inst. R. Mét. de Belgique.* Misc. fasc. **12**.