



Rapport de recherche

1984

Open Access

This version of the publication is provided by the author(s) and made available in accordance with the copyright holder(s).

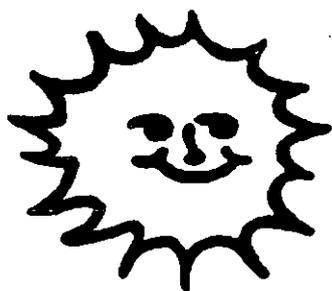
Mesures d'ensoleillement à Genève : publication No 10 : Corrélations entre les rayonnements solaires global, diffus et direct et la durée d'insolation

Ineichen, Pierre; Guisan, Olivier; Razafindraibe, Augustin

How to cite

INEICHEN, Pierre, GUI SAN, Olivier, RAZAFINDRAIBE, Augustin. Mesures d'ensoleillement à Genève : publication No 10 : Corrélations entre les rayonnements solaires global, diffus et direct et la durée d'insolation. 1984

This publication URL: <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:79699>



MESURES D'ENSOLEILLEMENT A GENEVE

PUBLICATION No 10

**Corrélations entre les rayonnements solaires global,
diffus et direct et la durée d'insolation**

P. Ineichen

O. Guisan

A. Razafindraibe



UNIVERSITE DE GENEVE

MESURES D'ENSOLEILLEMENT A GENEVE

PUBLICATION No 10

Corrélations entre les rayonnements solaires global, diffus et direct et la durée d'insolation

P. Ineichen

O. Guisan

A. Razafindraibe

Août 1984

Adresses: CUEPE, 2-4 rue du Lièvre, 1211 Genève 24,
tél. 022/43 92 42

Groupe de physique appliquée, Section de physique
24 quai Ernest Ansermet, 1211 Genève 4
tél. 022/21 93 55

Corrélations entre les rayonnements solaires global, diffus et direct et la durée d'insolation.

1. Introduction

En l'absence de mesure des rayonnements solaires en un site donné, il faut évaluer ceux-ci sur la base de paramètres plus généralement disponibles, tels le taux de couverture nuageuse ou la fraction d'insolation. Dans cette étude, sur la base des mesures d'ensoleillement effectuées à Genève de 1978 à 1982 [1], nous avons étudié les corrélations possibles entre les divers rayonnements solaires sur un plan horizontal et la fraction d'insolation.

La fraction d'insolation traduit le temps pendant lequel le soleil est visible (rayonnement direct sur plan normal supérieur à un seuil d'environ 200 W/m^2) ; cette mesure s'effectue en continu au moyen d'un héliographe de Campell-Stokes, ou d'un héliographe électronique dont plusieurs modèles sont actuellement disponibles sur le marché.

Dans cette étude, nous avons examiné les corrélations du type Angström-Black suivantes :

$$K_h = \frac{H_h}{H_0} = f \left(\frac{n}{N} \right)$$

$$K_d = \frac{H_d}{H_0} = f' \left(\frac{n}{N} \right)$$

$$\text{et } K_b = \frac{H_b}{H_0} = f'' \left(\frac{n}{N} \right)$$

où, pour une même période, n représente la durée d'insolation, N la durée d'insolation maximum possible, H_h , H_d et H_b les rayonnements global, diffus et direct sur plan horizontal et H_0 le rayonnement extraterrestre correspondant; n et N , H_h , H_d , H_b et H_0 sont intégrés sur la période considérée.

La durée d'insolation maximum journalière N se calcule par :

$$N = \frac{2 \cdot \omega_s}{\pi/12} = \frac{2 \cdot \arcsin(-\text{tg}L \cdot \text{tg}\delta)}{\pi/12} \quad [\text{heures}]$$

ω_s : angle horaire lever/coucher du soleil

L : latitude du lieu

δ : déclinaison

Des études semblables effectuées en d'autres points géographiques sont décrites dans les références [2 à 17].

Nous utilisons dans ce genre d'études 2 types d'indicateurs (μ et σ) pour comparer des valeurs expérimentales mesurées à des valeurs calculées (modèles, corrélations, ajustements, etc...)

y_i = valeur mesurée

y = valeur calculée

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - y) \quad \sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - y)^2 \quad \sigma = \sqrt{\sigma^2}$$

L'écart moyen μ traduit une déviation systématique, l'écart-type σ des fluctuations de type quasi-aléatoire.

y peut dépendre d'une ou plusieurs variables; les indicateurs peuvent être calculés sur toutes les mesures disponibles ou par secteur.

Cf. réf. [1] no 9 pour plus de détails.

Toutes les corrélations sont établies par moindres carrés.

2. Corrélations en valeurs mensuelles

Les Fig. 1 à 3 représentent les corrélations, pour les 48 valeurs mensuelles mesurées, entre les grandeurs K_h , K_d et K_b et la fraction d'insolation n/N . Pour chaque corrélation sont donnés (cf [1] No 9):

- en A : les valeurs mesurées de K en fonction de la fraction d'insolation ainsi que la courbe de corrélation obtenue
- en B : l'écart moyen et l'écart-type entre les mesures et la corrélation par tranche de 5% de fraction d'insolation
- en C : l'applicabilité de la corrélation, c'est-à-dire les valeurs mesurées représentées en fraction des valeurs calculées, (sur les bases de la corrélation obtenue et de la fraction d'ensoleillement), ainsi que la droite de pente unité
- en D : l'écart moyen et l'écart-type entre valeurs mesurées et calculées de la Figure C.

La corrélation pour le rayonnement global permet l'estimation du rayonnement global avec une erreur de l'ordre de 10%.

Pour le rayonnement direct un premier ajustement a donné :

$$K_b = - 0.004 + 0.639 \left(\frac{n}{N}\right)$$

La première constante étant très proche de zéro, nous la forçons à zéro ce qui donne les résultats de la figure 2. L'imprécision est également de l'ordre de 10%.

L'examen de la figure 3A montre clairement que le rayonnement diffus normalisé (K_d) n'est pas (ou presque pas) corrélé à la fraction d'insolation. Nous supposons donc K_d constant. L'erreur dans l'estimation du rayonnement diffus est dans ce cas de l'ordre de 15%.

Les 3 corrélations obtenues pour K_h , K_b et K_d sont compatibles ($K_h \approx K_d + K_b$). En résumé :

Corrélations en valeurs mensuelles :	Erreur d'estimation (approximative)
$K_h = .20 + .67 \left(\frac{n}{N}\right)$	10 %
$K_b = .67 \left(\frac{n}{N}\right)$	10 %
$K_d = .205$	15 %

3. Corrélations en valeurs journalières

Nous adoptons ici les mêmes représentations (Fig. A,B,C et D) que pour les valeurs mensuelles. Les corrélations obtenues sont basées sur 1459 valeurs journalières.

L'observation de la représentation de K_d en fonction de la fraction d'insolation suggère trois approches pour l'obtention de la corrélation.

- K_d n'est pas corrélé à n/N : $K_d = .21$ (Fig. 4).

Il est à noter ici que le premier intervalle en $\left(\frac{n}{N}\right)$ est fortement peuplé et influence l'ajustement de K_d : cf. Fig. 4 bis. L'erreur sur l'estimation du rayonnement diffus est de l'ordre de 30%.

- K_d est linéairement corrélé à n/N : Fig. 5. L'erreur est dans ce cas de l'ordre de 25%.

- La corrélation qui semble le plus adaptée aux mesures est d'ordre quadratique et permet l'estimation du rayonnement diffus avec une précision d'environ 20% (Fig. 6).

Pour le rayonnement direct un premier ajustement a donné :

$$K_b = 0.02 + 0.56 \left(\frac{n}{N}\right)$$

En forçant la première constante (positive mais faible) à zéro, nous obtenons les résultats de la Fig. 7. La corrélation ainsi obtenue permet le calcul du rayonnement direct avec une précision de ± 0.5 [kWh/m².j].

L'évaluation de la corrélation concernant le rayonnement global peut se faire de diverses façons :

- En prenant la somme des corrélations obtenues pour le diffus (Fig. 4) et le direct (Fig. 7) : c'est la Fig. 8. Une erreur d'environ ± 1 [kWh/m².j] avec un biais systématique affecte alors l'estimation du global.
- En effectuant un lissage du premier degré (cf. Fig. 9). L'estimation du rayonnement global est quelque peu amélioré : légère diminution du biais et des écarts quadratiques moyen.
- La Fig. 10 représente un lissage du 2ème degré. On constate une petite amélioration. L'erreur est de l'ordre de ± 0.8 kWh/m².j.

Il découle des corrélations effectuées ci-dessus (Fig. 4 à 10) que l'estimation des rayonnements diffus, direct et global peut s'effectuer avec une imprécision d'environ $\pm 20\%$, $\pm 0,5$ [kWh/m².j] et ± 0.8 [kWh/m².j] respectivement (corrélations du 2ème degré pour les rayonnements diffus et global).

Effets saisonniers

Les corrélations précédentes

$$K_d = a_0 + a_1 \left(\frac{n}{N}\right) + a_2 \left(\frac{n}{N}\right)^2$$

$$K_b = b_1 \left(\frac{n}{N}\right)$$

$$K_h = c_0 + c_1 \left(\frac{n}{N}\right) + c_2 \left(\frac{n}{N}\right)^2$$

ont été obtenues par lissage moindres carrés sur 1459 mesures (4 ans).

Dans le but de mettre en évidence un effet saisonnier sur ces corrélations, nous avons effectué un lissage moindres carrés par mois (~ 120 valeurs/mois), puis représenté sur la Fig. 11 les coefficients a_i , b_i et c_i obtenus en fonction de la masse d'air moyenne traversée \bar{m} pour le mois correspondant (cf. annexe 1). Une régression linéaire pour chacun de ces coefficients permet leur évaluation au cours de l'année. Les droites ainsi obtenues sont également représentées sur la fig. 11.

Les fig. 12 à 14 représentent l'applicabilité des corrélations à coefficients variables décrits ci-dessus. Il ressort de la comparaison des fig. 6,7 et 10 avec les figures 12 à 14 les points suivants :

- Si la précision sur l'estimation du rayonnement diffus reste de l'ordre de 20 %, le biais systématique est négligeable.
- Aucune amélioration significative pour le calcul du rayonnement direct.
- L'amélioration est la plus significative dans l'estimation du rayonnement global ; le biais est réduit et l'imprécision ramenée à $\sim \pm 0.5$ [kWh/m².j].
- La relation $K_h = K_b + K_d$ n'est pas rigoureusement vérifiée au niveau des corrélations individuelles.

Pour résumer ces corrélations journalières nous donnons la table I.

4. Comparaisons

La comparaison des corrélations obtenues dans cette étude avec d'autres résultats mondiaux est illustrée dans le Fig. 15 pour les valeurs mensuelles et journalières du rayonnement global.

Durant notre période de mesures, la fraction d'ensoleillement a été mesurée à Cointrin avec 2 appareils différents. L'analyse des 2 périodes correspondantes ne permet pas de voir de différences significatives : cf. fig. 16.

Remerciements

Les mesures d'ensoleillement à Genève ont pu être accomplies grâce à un financement du Nationaler Energie Forschungs fonds (NEFF) et aux mesures obtenues auprès du Service de Climatologie de la Suisse romande du Centre Météorologique de l'aéroport de Genève. Cette étude se fait dans le cadre d'une collaboration avec M. A. Zelenka (ISM, Zurich) et avec l'Agence Internationale de l'Energie (OFEN et NEFF).

Bibliographie[1] Mesures d'ensoleillement à Genève

- Publication N° 1 : Mesures d'ensoleillement à Genève
du 1er juillet 1978 au 30 juin 1979
A.M. Felkel, J.M. Gremaud, O. Guisan,
P. Ineichen et A. Mermoud. Février 1980.
- Publication N° 2 : Mesures d'ensoleillement à Genève. Vol. II
Période du 1.7.79 au 30.6.80
J.M. Gremaud, O. Guisan, P. Ineichen, A. Mermoud
Avril 1981.
- Publication N° 3 : Mesures d'ensoleillement à Genève. Vol. III
Etudes diverses.
P. Ineichen, O. Guisan, J.M. Gremaud.
Mai 1982.
- Publication N° 4 : 4 années de mesures d'ensoleillement à Genève.
Thèse de P. Ineichen, Faculté des Sciences,
Université de Genève. Juillet 1983.
- Publication N° 5 : Analyse et comparaison de deux modèles de
transposition plan horizontal => plan quelconque
A. Razafindraibe, P. Ineichen, O. Guisan.
Février 1984.
- Publication N° 6 : Atlas et fichiers, mesures de 1978 à 1982
A. Razafindraibe, P. Ineichen, O. Guisan.
Février 1984.
- Publication N° 7 : Corrélations diverses sur le rayonnement
infrarouge du ciel.
P. Ineichen, O. Guisan, A. Razafindraibe.
Février 1984.
- Publication N° 8 : Connaissance du rayonnement solaire en
Suisse : besoins présents et futurs.
O. Guisan
Avril 1984
- Publication N° 9 : Indice de clarté
P. Ineichen, O. Guisan, A. Razafindraibe
Juin 1984
- Publication N° 10 : ce document

- [2] R. Benson, M. V. Paris, J. E. Sherry, C. G. Justus
Estimation of daily and monthly direct, diffuse and global
solar radiation from sunshine duration measurements.
Solar Energy Vol. 32 N° 4, 523-535 (1984)

- [3] M. Iqbal
Correlation of average diffuse and beam radiation with hours of bright sunshine.
Solar Energy Vol. 23, 163-173 (1979)
- [4] A. A. Flocas
Estimation and prediction of global solar radiation over Greece.
Solar Energy, Vol. 24, 63-70 (1980)
- [5] J. H. Hay
Calculation of monthly mean solar radiation for horizontal and inclined surfaces.
Solar Energy, Vol. 23, 301-307 (1979)
- [6] A. A. Sfeir
Solar radiation in Lebanon.
Solar Energy, Vol. 26, 497-502 (1981)
- [7] A. J. Biga, R. Rosa
Estimating solar irradiation sums from sunshine and cloudiness observations.
Solar Energy, Vol. 25, 265-272 (1980)
- [8] B. Y. H. Liu, R. C. Jordan
The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation.
Solar Energy N° 3, Vol IV, 1 (1960)
- [9] Inventaire et validation des modèles de calcul du rayonnement solaire au Québec en vue des applications énergétiques.
Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec (1983)
- [10] R. D. Sears, R. G. Flocchini, J. L. Hatfield
Correlation of total, diffuse and direct solar radiation with the percentage of possible sunshine for Davis, California.
Solar Energy, Vol. 27, n° 4, 357-360 (1981)
- [11] S. Kunz, R. Volz
Ein Kataster mit Strahlungsdaten für die Sonnenenergienutzung für jede Gemeinde der Schweiz.
SONUS, Bern (1984)
- [12] M. R. Rietveld
A new method for estimating the regression coefficients in the formula relating solar radiation to sunshine.
Agric. Meteor. 19, 243-252 (1978)
- [13] H. L. Driedger, A. J. W. Catchpole
Estimation of solar radiation receipt from sunshine duration at Winnipeg.
Meteor. Mag. 99, 285-291 (1970)

- [14] C. F. Brooks, E. S. Brooks
Sunshine recorders : a comparative study of the burning glass
and thermometric systems.
J. Meteor. 4, 105-115 (1947)
- [15] J. K. Page
The estimation of monthly mean values of daily total shortwave
radiation on vertical and inclined surfaces from sunshine
records for latitudes 40°N-40°S.
Proc. U.N. Conf. on New Sources of Energy
Paper N° 35/S/98, S 378-390 (1961)
- [16] Löf G.O.G. et al.
World distribution of solar radiation.
Engineering Experiment Station Rpt 21.
University of Wisconsin, Madison (1966)
- [17] R. E. Schulze
A physically based method of estimating solar radiation from
suncards.
Agric. Meteor. 16, 85-101 (1976)
- [18] A.A. Sfeir, G. Guarracino
Ingénierie des systèmes solaires, applications à l'habitat.
Tec & Doc (1981)

Table I : Corrélations journalières $K = f(\frac{n}{N})$

	Corrélation	Erreur approximative	Fig.
1	$K_d = .21$	30%	4
2	$K_d = .25 - .07(\frac{n}{N})$	25%	
3	$K_d = .20 + .32(\frac{n}{N}) - .41(\frac{n}{N})^2$	20%	6
4	$K_b = .61(\frac{n}{N})$	0.5 [kWh/m ² ·j]	7
1+4	$K_h = .21 + .61(\frac{n}{N})$	1.0 "	8
5	$K_h = .25 + .51(\frac{n}{N})$	1.0 "	9
6	$K_h = .21 + .88(\frac{n}{N}) - .40(\frac{n}{N})^2$	0.8 "	10
7	$K_d = c_0 + c_1 \cdot (\frac{n}{N}) + c_2 \cdot (\frac{n}{N})^2$ $c_0 = .28 - .03\bar{m}$ $c_1 = .09 + .11\bar{m}$ $c_2 = -.19 - .12\bar{m}$	20%	12
8	$K_b = b_1 \cdot (\frac{n}{N})$ $b_1 = .80 - .098\bar{m}$	0.5 [kWh/m ² ·j]	13
9	$K_h = a_0 + a_1 \cdot (\frac{n}{N}) + a_2 \cdot (\frac{n}{N})^2$ $a_0 = .35 - .05\bar{m}$ $a_1 = .79 + .06\bar{m}$ $a_2 = -.14 - .16\bar{m}$	0.5 "	14

pour \bar{m} cf. Annexe 1

Annexe 1 : Masse d'air moyenne mensuelle.

Nous avons utilisé la formulation suivante pour le calcul de la masse d'air optique moyenne mensuelle :

$$\bar{m} = \frac{1 - .1 \cdot z}{\sin h} = \frac{(1 - .1 \cdot z) \cdot \omega_s}{\cos L \cdot \cos \delta \cdot (\sin \omega_s - \omega_s \cdot \cos \omega_s)}$$

et effectué ce calcul pour le jour du mois représentatif de la moyenne mensuelle du rayonnement extraterrestre sur un plan horizontal H_0 [18].

Pour la latitude de Genève ($L = 46.2^\circ$ et $z = .4$ km) on obtient :

mois	jour	\bar{m}
Janvier	(17)	3.71
Février	(16)	2.83
Mars	(16)	2.24
Avril	(15)	1.90
Mai	(15)	1.74
Juin	(11)	1.70
Juillet	(17)	1.72
Août	(16)	1.82
Sept.	(15)	2.08
Octobre	(15)	2.60
Nov.	(14)	3.43
Déc.	(10)	4.12

Notation :

m	masse d'air optique
L	latitude
z	altitude en km
h	hauteur du soleil
δ	déclinaison du soleil
ω_s	angle horaire du lever/coucher du soleil en radians

Figure 1 : Corrélation $K_h = f(\frac{n}{N})$ en valeurs mensuelles.

$$K_h = .20 + .67(\frac{n}{N})$$

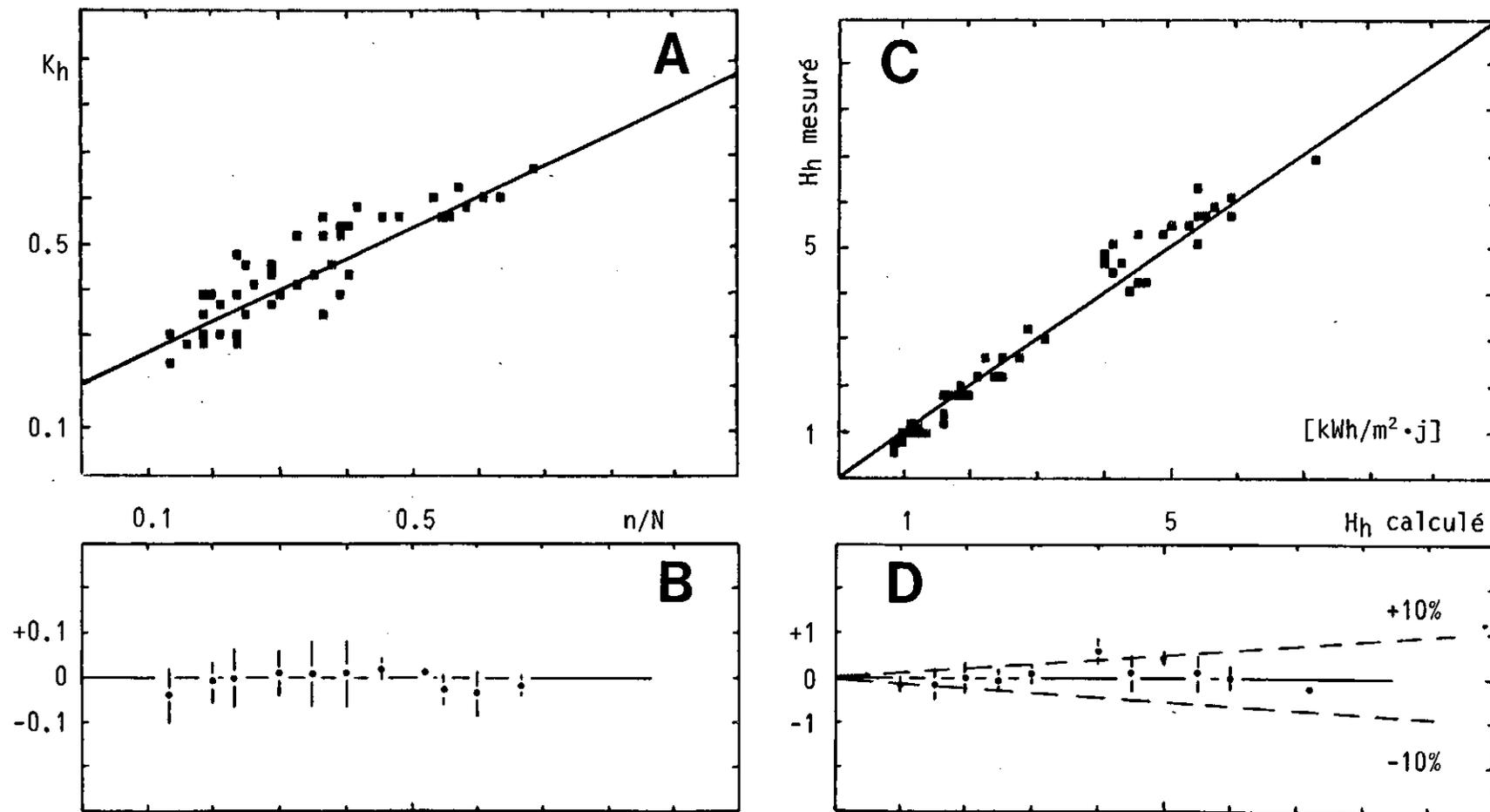


Figure 2 : Corrélation $K_b = f\left(\frac{n}{N}\right)$ en valeurs mensuelles.

$$K_b = .67 \left(\frac{n}{N}\right)$$

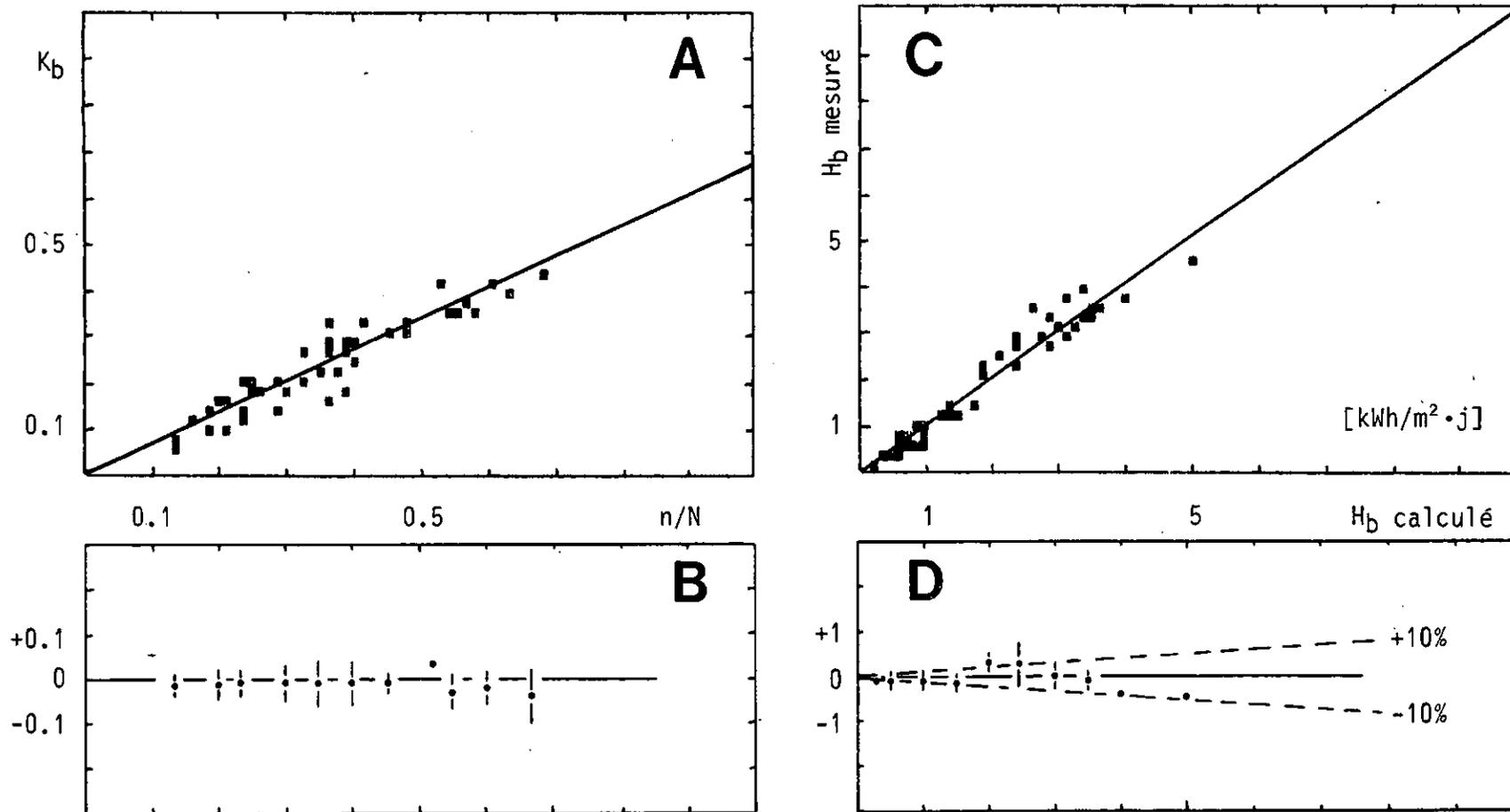


Figure 3 : Corrélation $K_d = f\left(\frac{n}{N}\right)$ en valeurs mensuelles.

$$K_d = .205$$

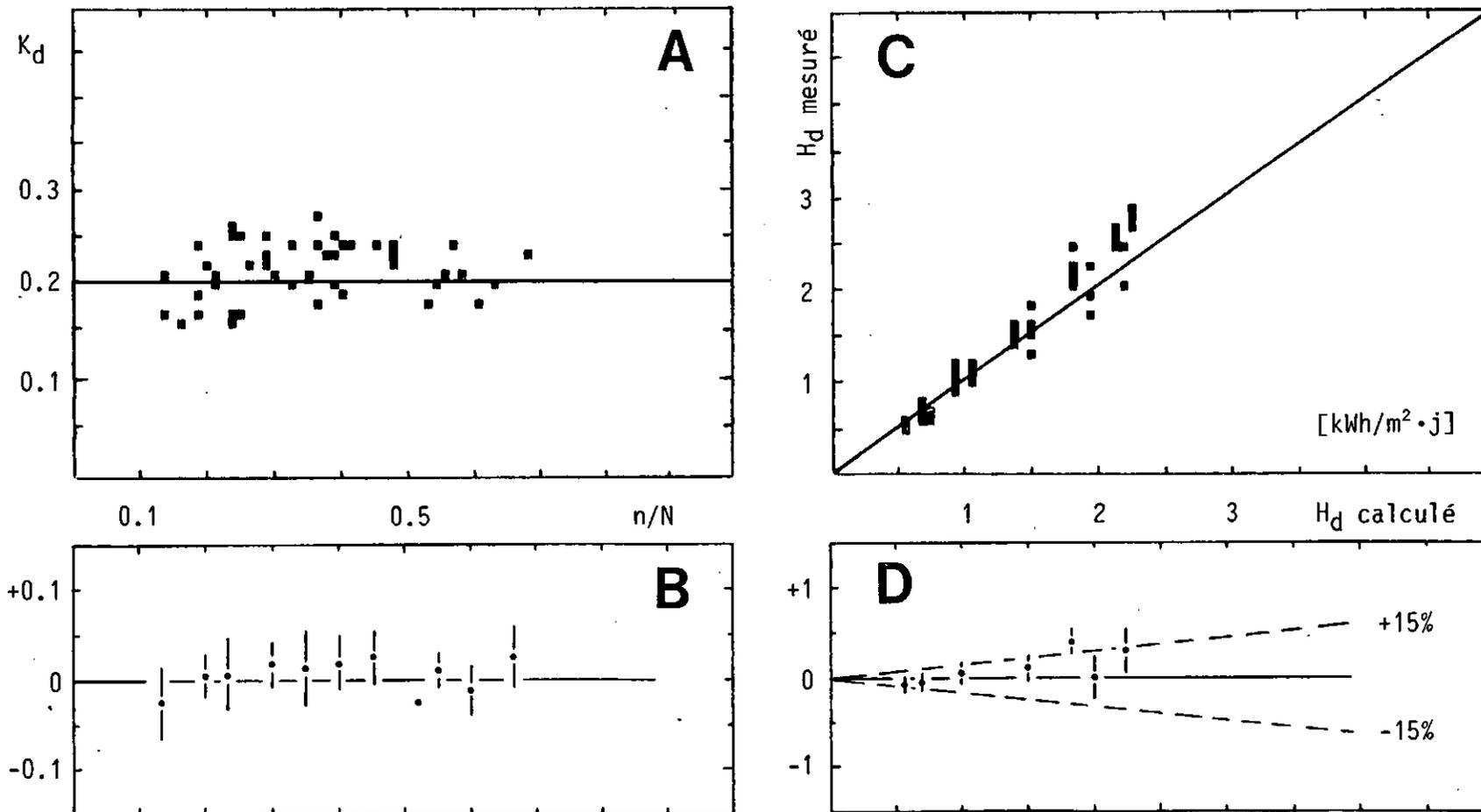


Figure 4 : Corrélation $K_d = f(\frac{n}{N})$ en valeurs journalières.

$$K_d = .21$$

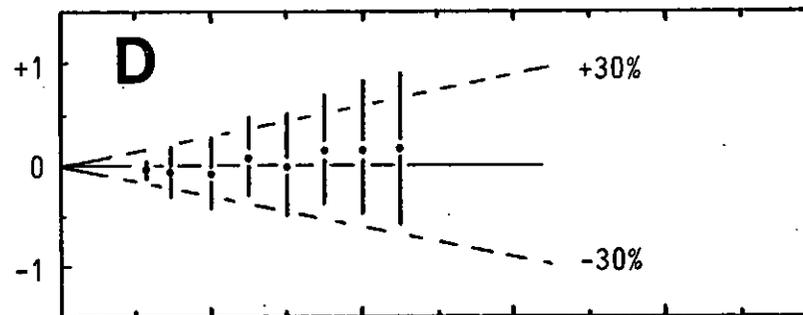
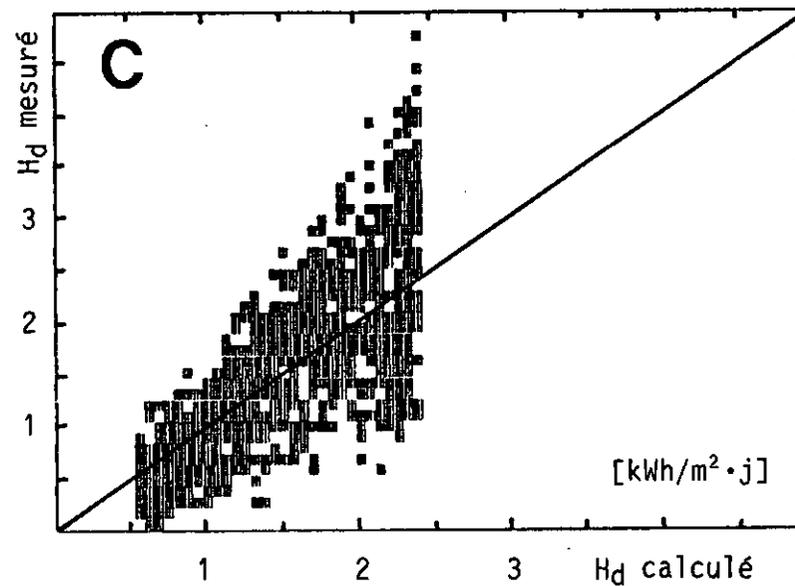
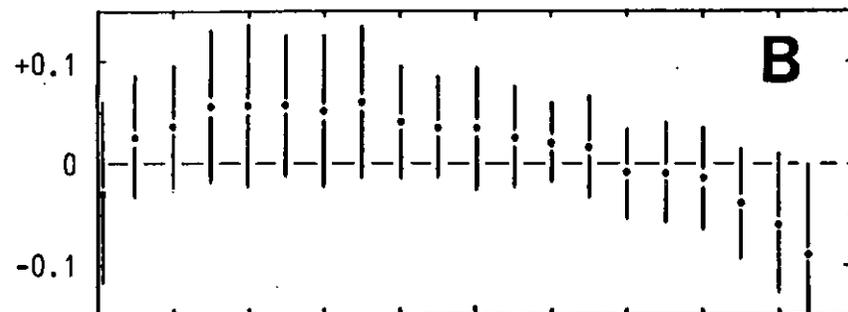
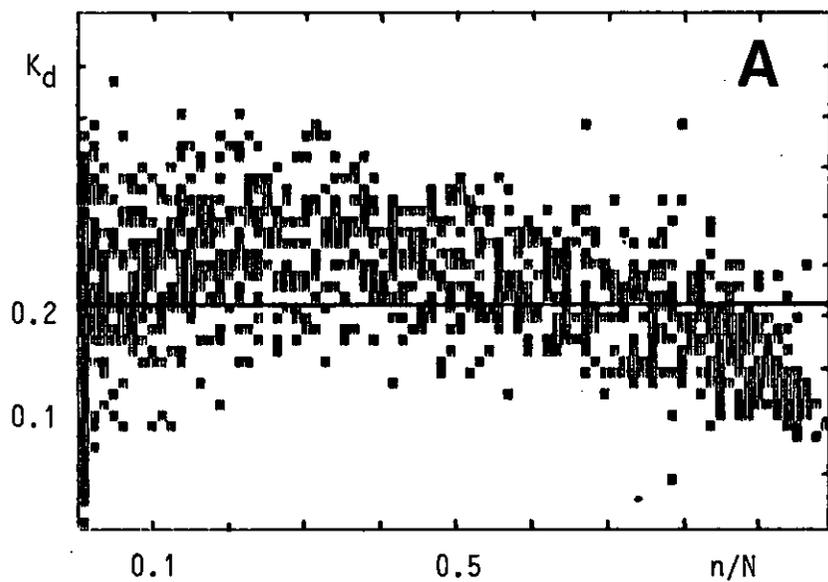


Figure 4 bis : Histogramme des fréquences de K_d pour une fraction d'insolation nulle (1er intervalle de la Fig. 4B)

Nombre total des valeurs journalières : 315

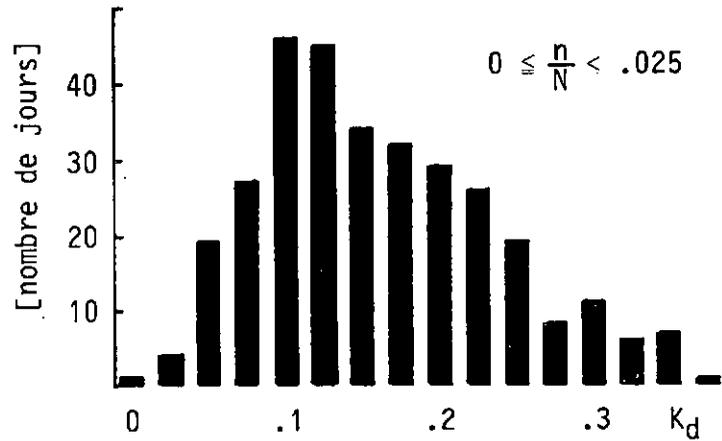


Figure 5 : Corrélation $K_d = f\left(\frac{n}{N}\right)$ en valeurs journalières.

$$K_d = .25 - .07 \left(\frac{n}{N}\right)$$

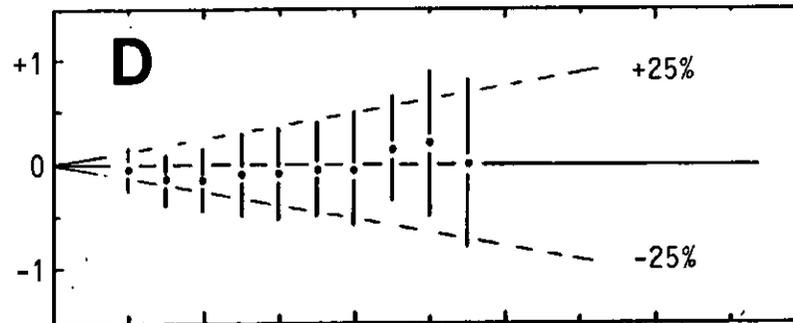
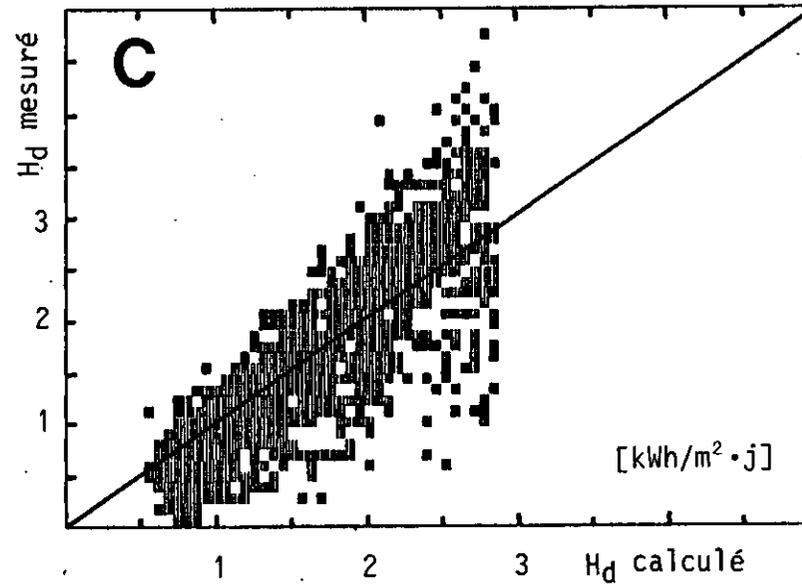
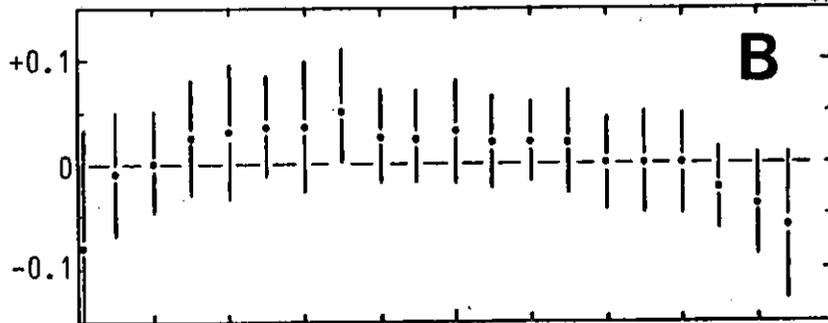
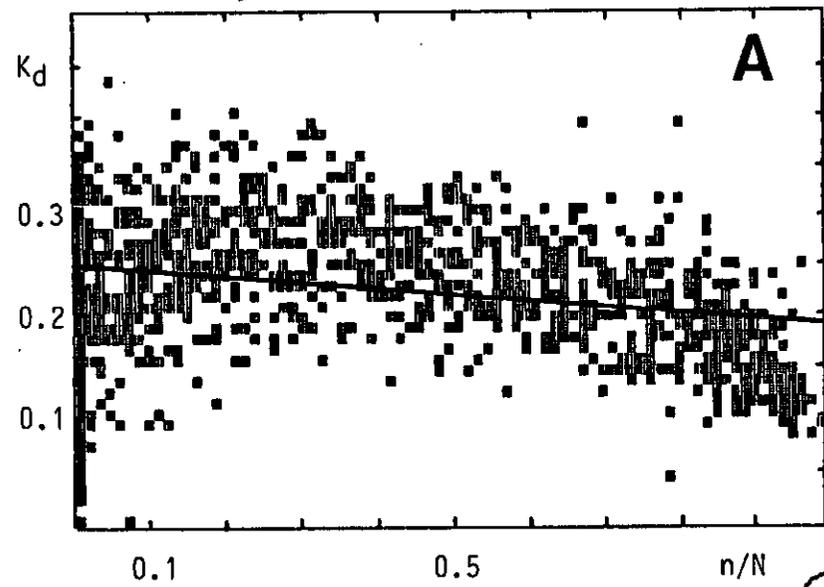


Figure 6 : Corrélation $K_d = f(\frac{n}{N})$ en valeurs journalières.

$$K_d = .20 + .32 \left(\frac{n}{N}\right) - .41 \left(\frac{n}{N}\right)^2$$

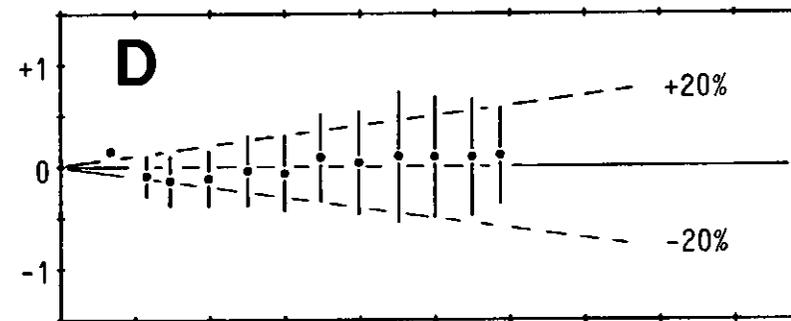
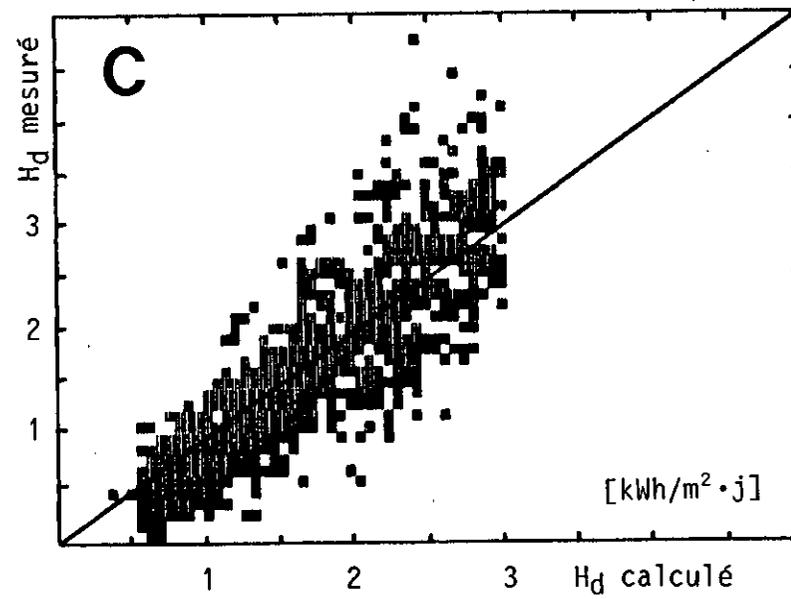
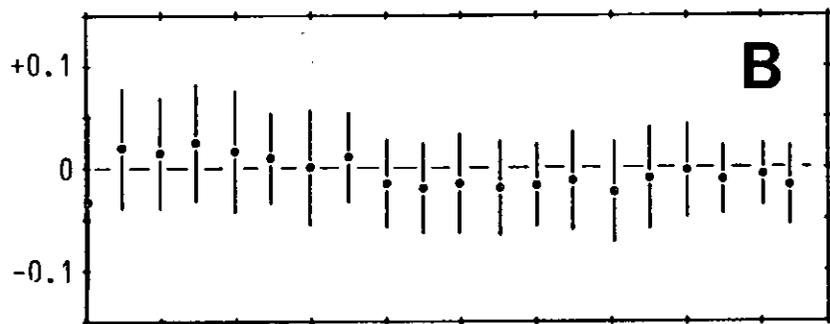
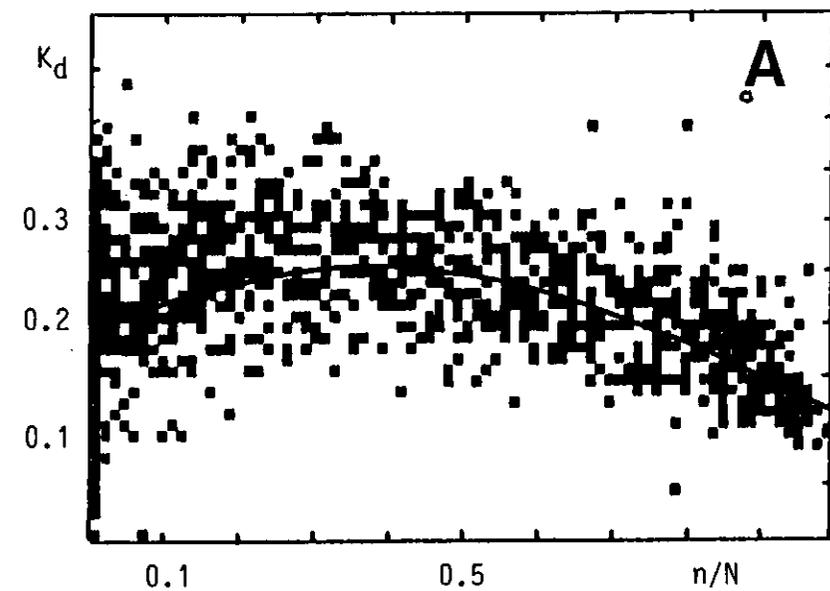


Figure 7 : Corrélation $K_b = f\left(\frac{n}{N}\right)$ en valeurs journalières.

$$K_b = .61 \left(\frac{n}{N}\right)$$

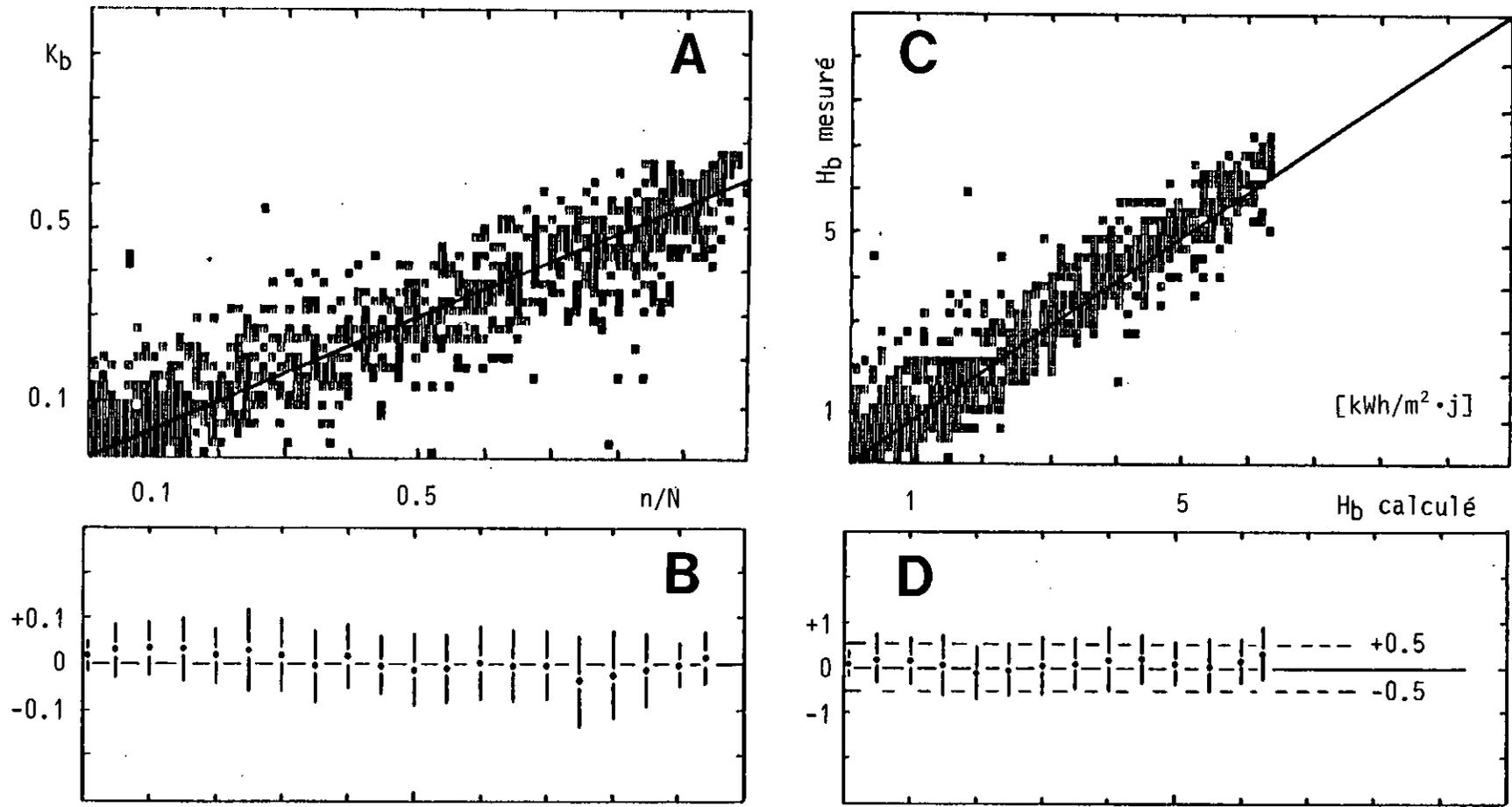


Figure 8 : Corrélation $K_h = f(\frac{n}{N})$ en valeurs journalières.

$$K_h = K_b + K_d = .21 + .61 \left(\frac{n}{N}\right)$$

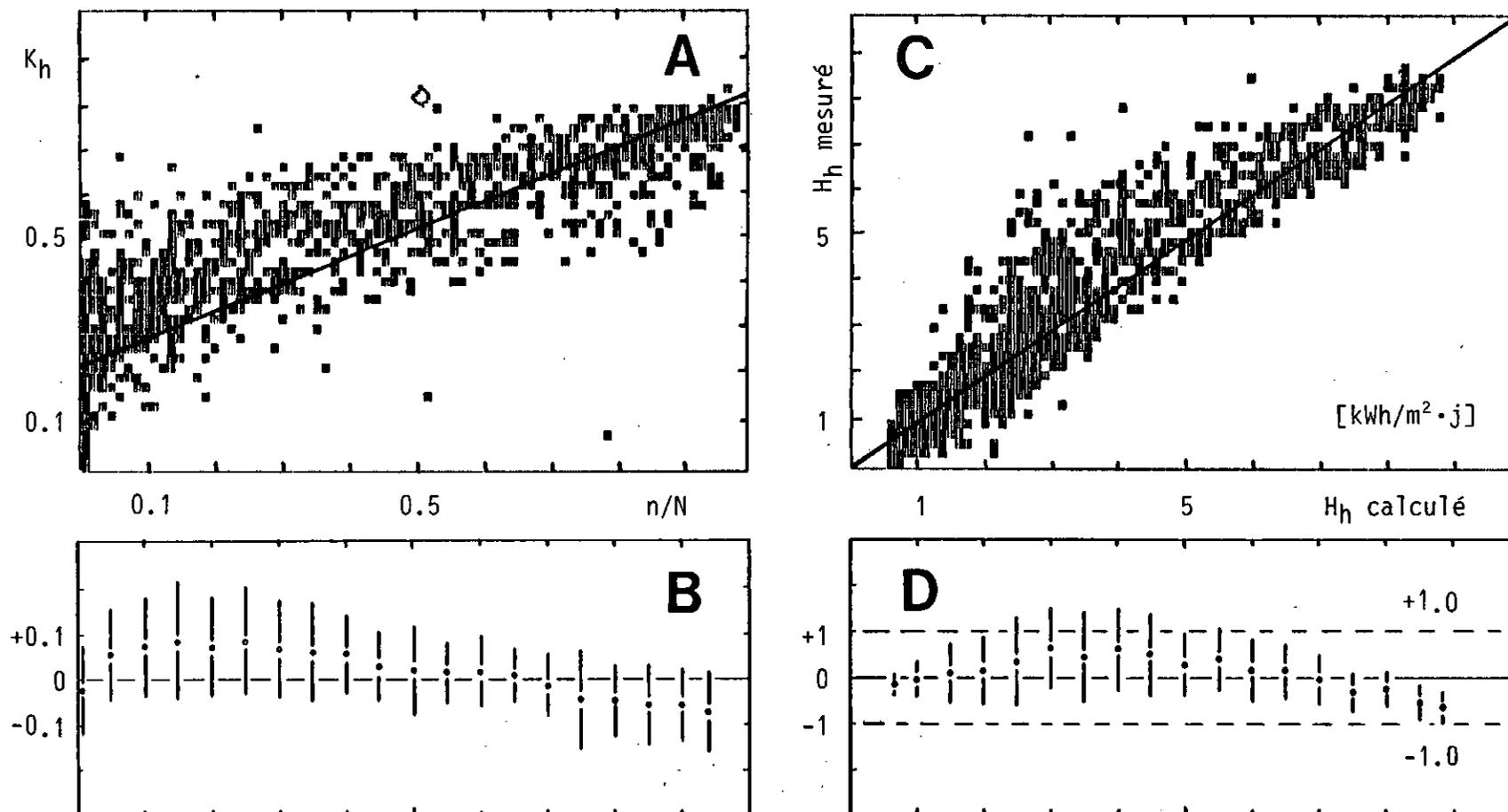


Figure 9 : Corrélation $K_h = f(\frac{n}{N})$ en valeurs journalières.

$$K_h = .25 + .51 \left(\frac{n}{N}\right)$$

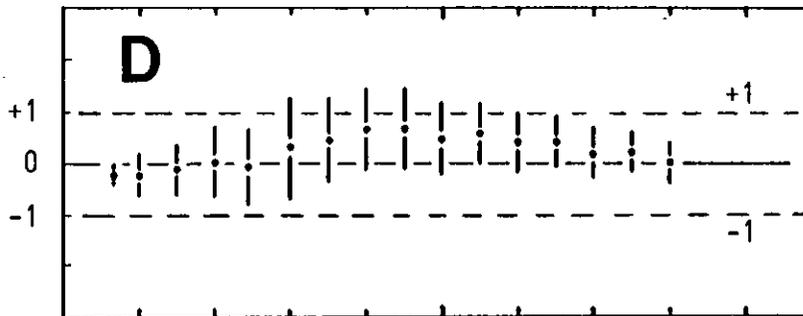
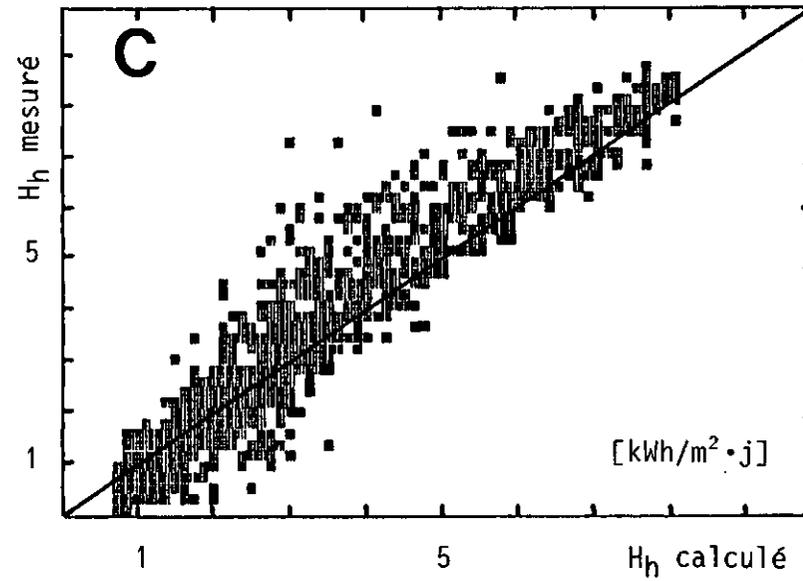
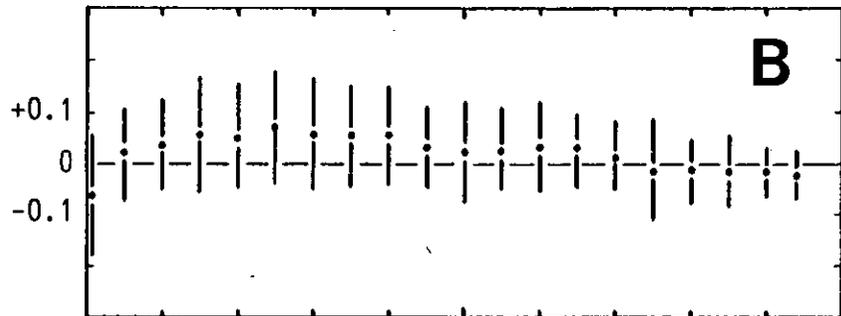
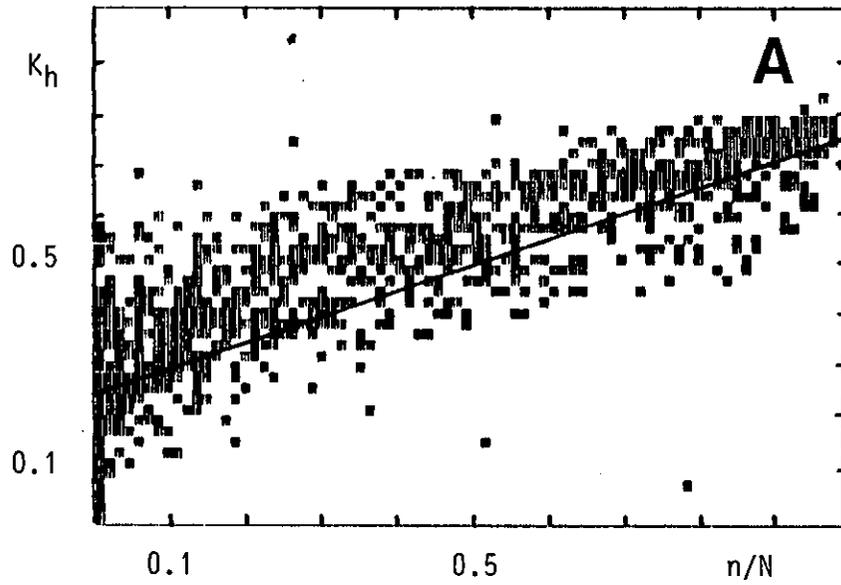


Figure 10 : Corrélation $K_h = f\left(\frac{n}{N}\right)$ en valeurs journalières.

$$K_h = .21 + .88 \left(\frac{n}{N}\right) - .40 \left(\frac{n}{N}\right)^2$$

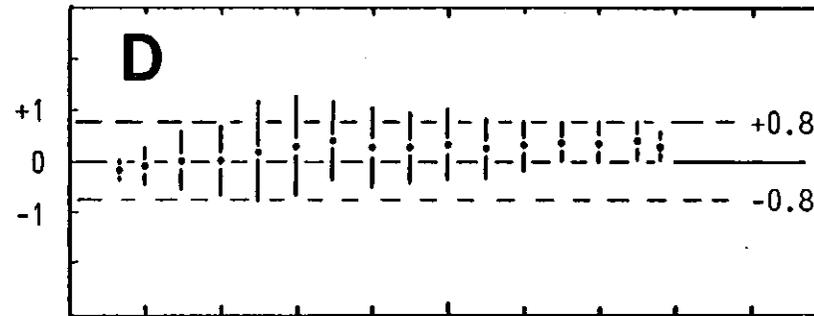
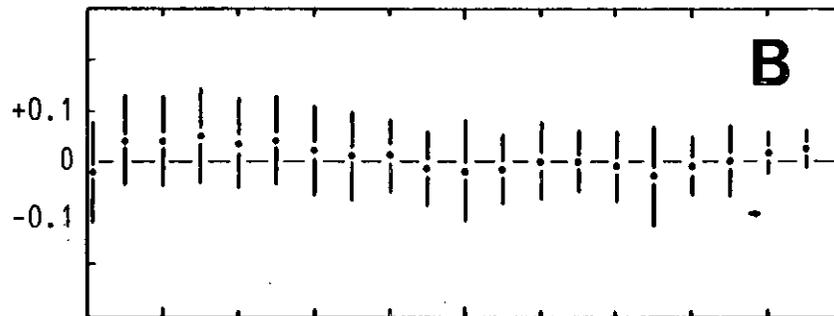
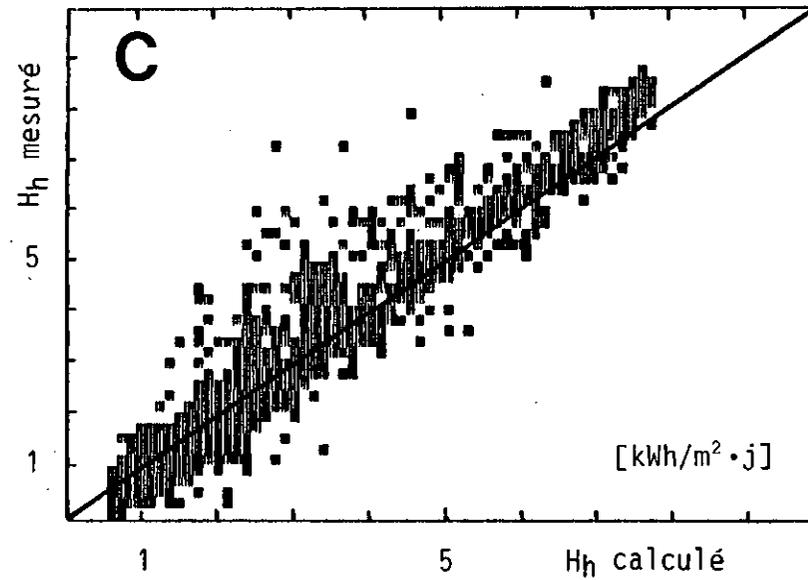
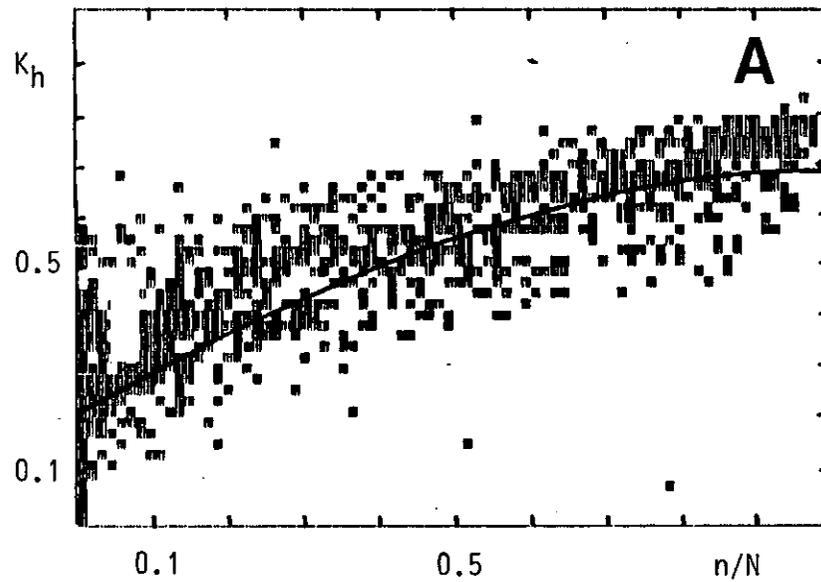
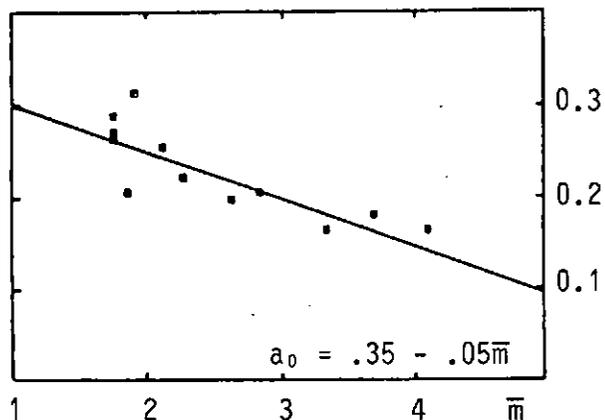
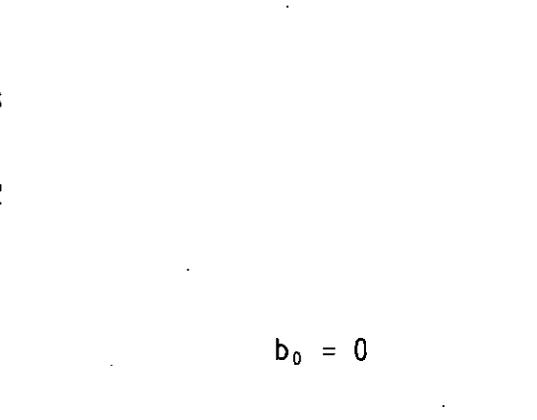


Figure 11 : Effets saisonniers des corrélations en valeurs journalières : coefficients variables avec \bar{m} .

Corrélation K_h



Corrélation K_b



Corrélation K_d

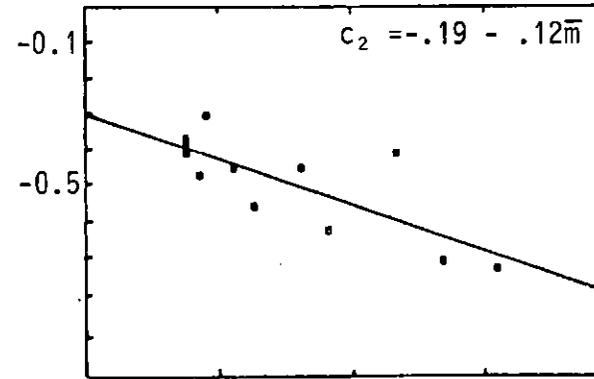
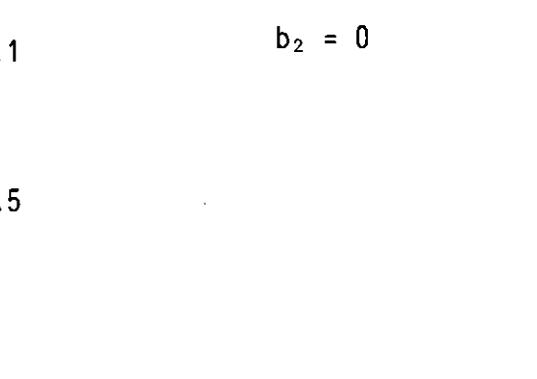
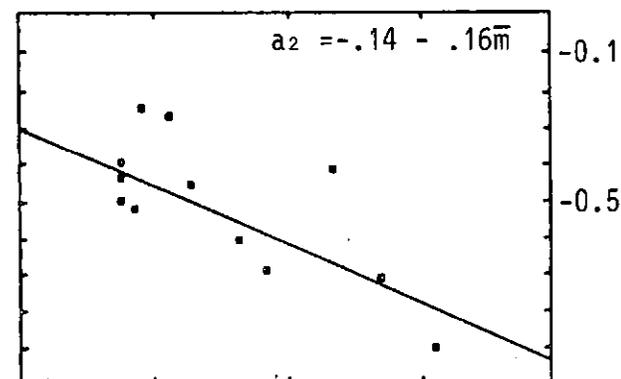
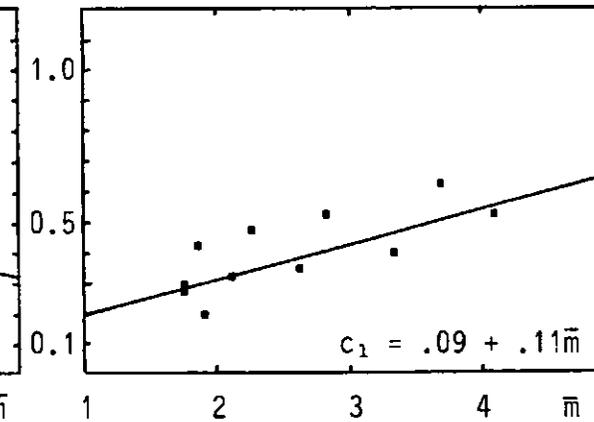
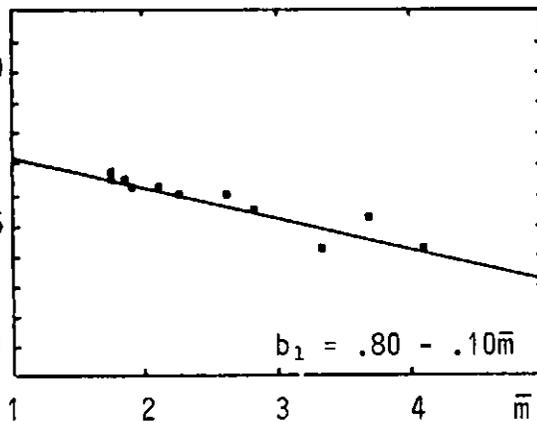
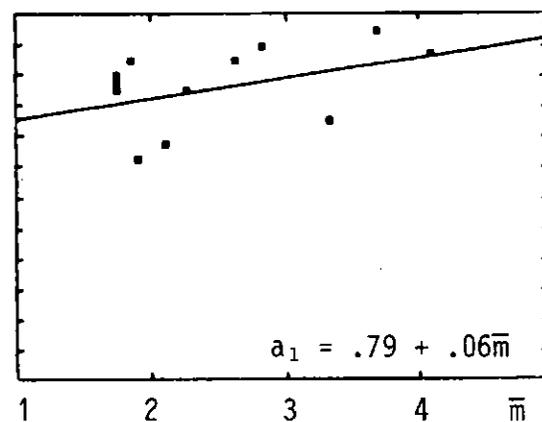
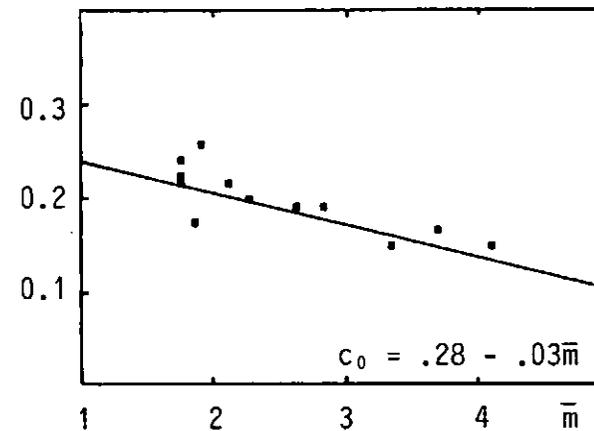


Figure 12 : Corrélation $K_d = f(\frac{n}{N})$ en valeurs journalières.

$$K_d = c_0 + c_1 \left(\frac{n}{N}\right) + c_2 \left(\frac{n}{N}\right)^2$$

$$\begin{aligned} c_0 &= .28 - .03m \\ c_1 &= .09 + .11m \\ c_2 &= -.19 - .12m \end{aligned}$$

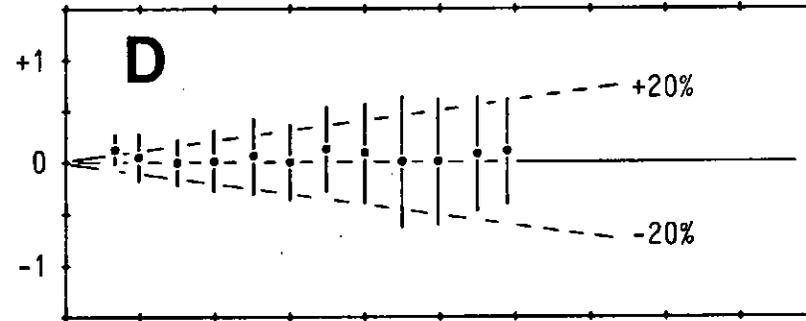
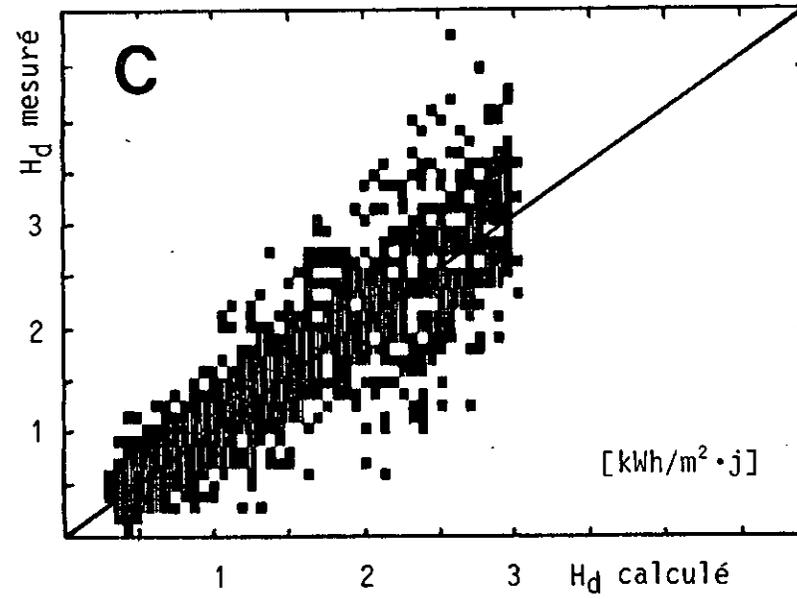
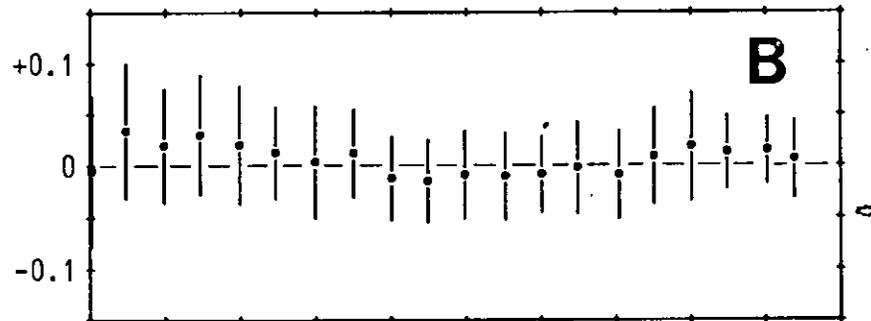
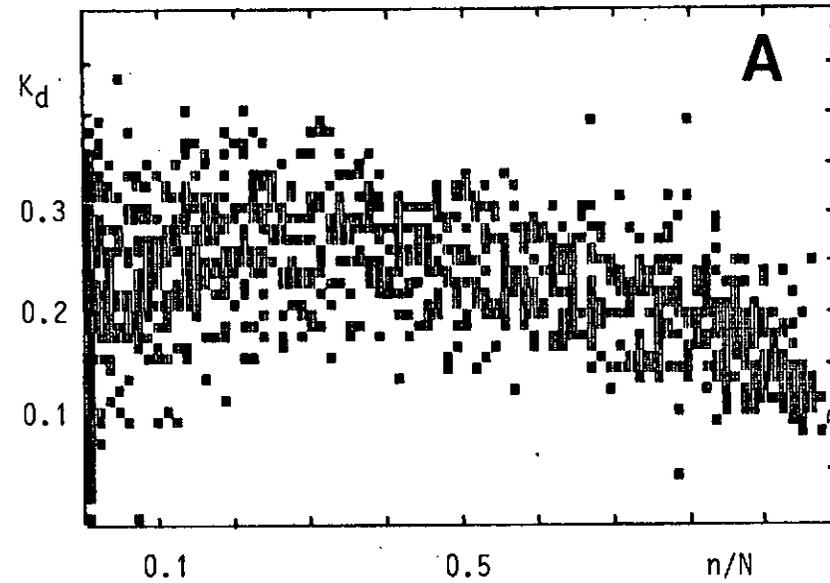


Figure 13 : Corrélation $K_b = f(\frac{n}{N})$ en valeurs journalières.

$$K_b = b_1 \cdot (\frac{n}{N})$$

$$b_1 = .80 - .098m$$

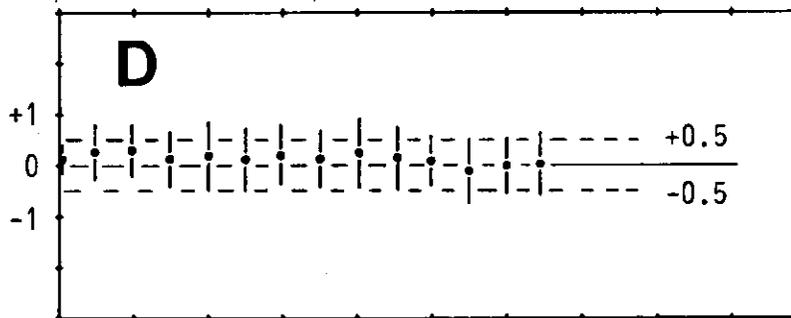
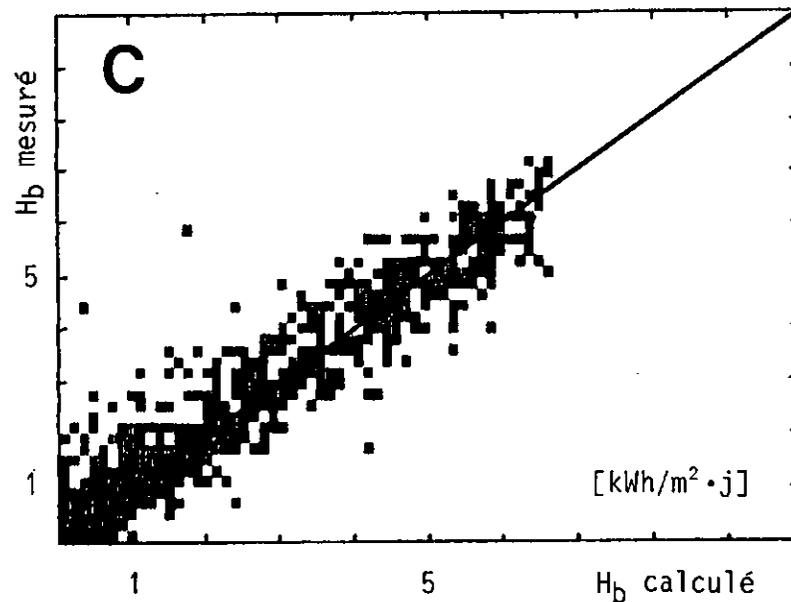
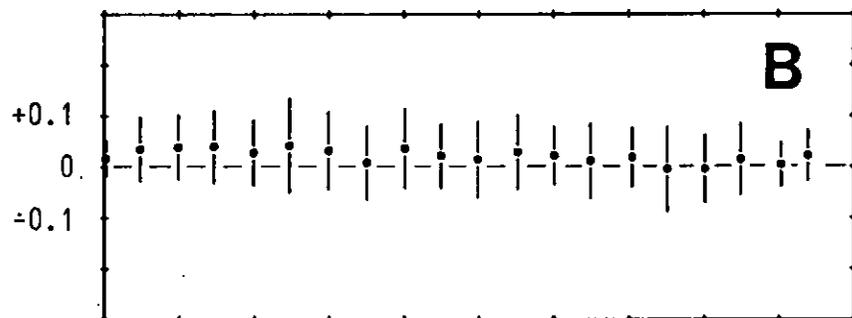
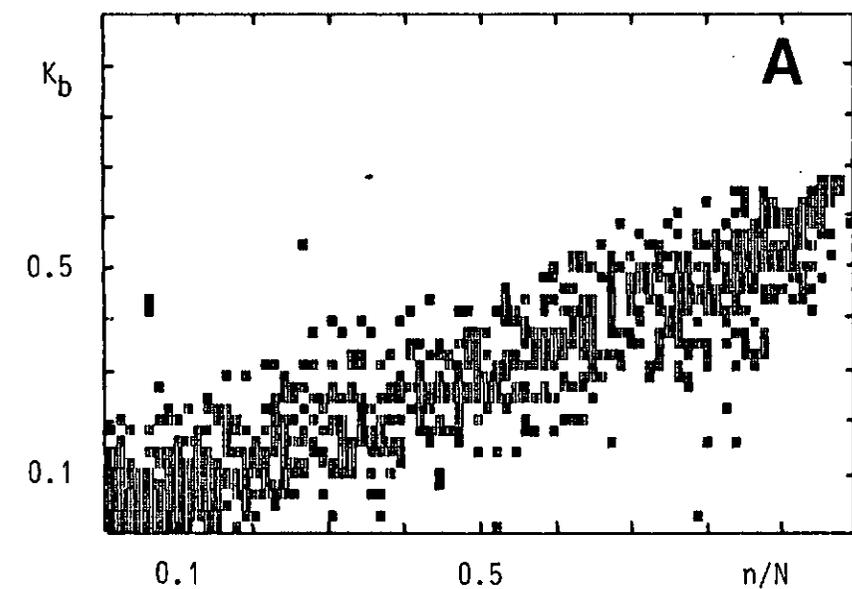


Figure 14 : Corrélation $K_h = f\left(\frac{n}{N}\right)$ en valeurs journalières.

$$K_h = a_0 + a_1 \cdot \left(\frac{n}{N}\right) + a_2 \cdot \left(\frac{n}{N}\right)^2$$

$$a_0 = .35 - .05m$$

$$a_1 = .79 + .06m$$

$$a_2 = -.14 - .16m$$

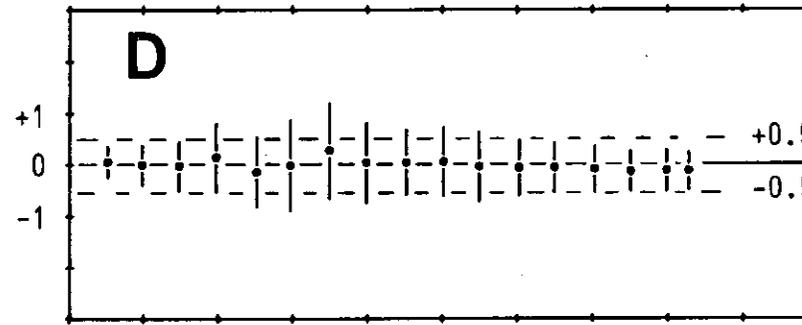
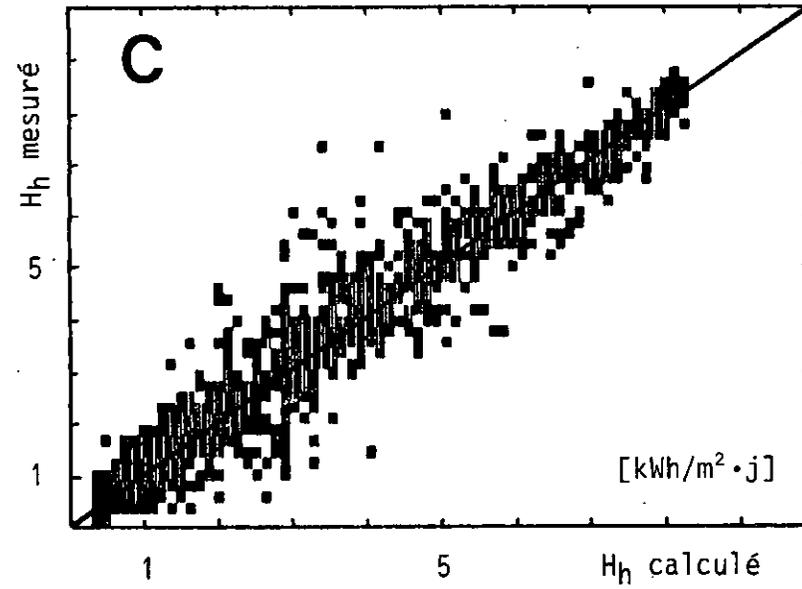
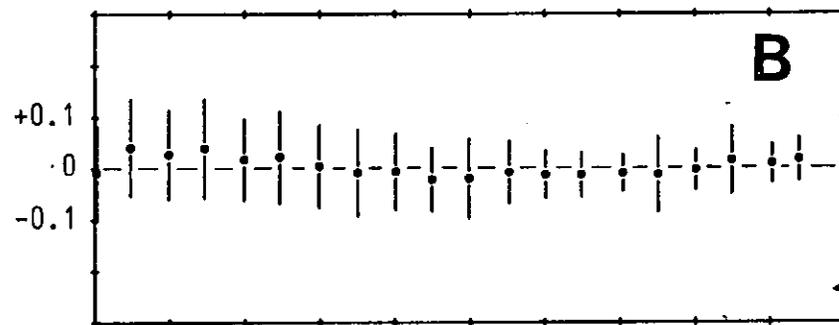
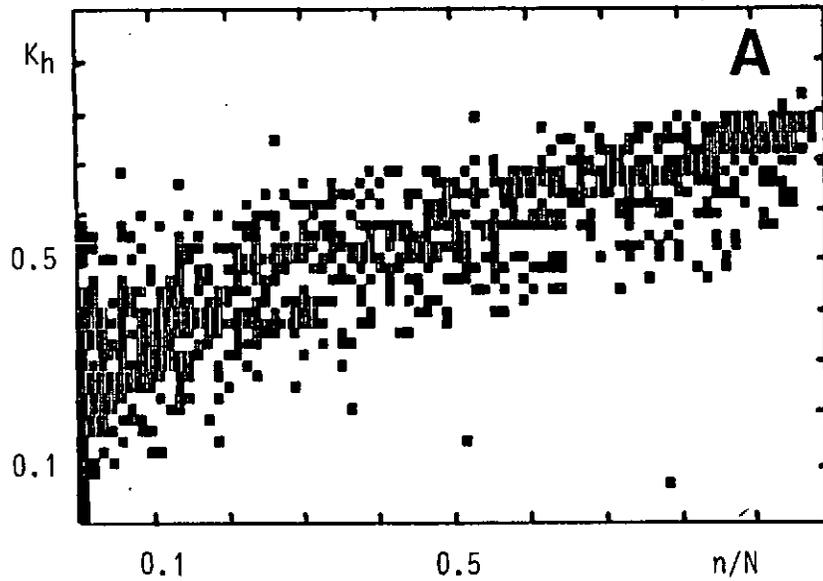


Figure 15 : Comparaisons de corrélations $K_h = f(\frac{n}{N})$

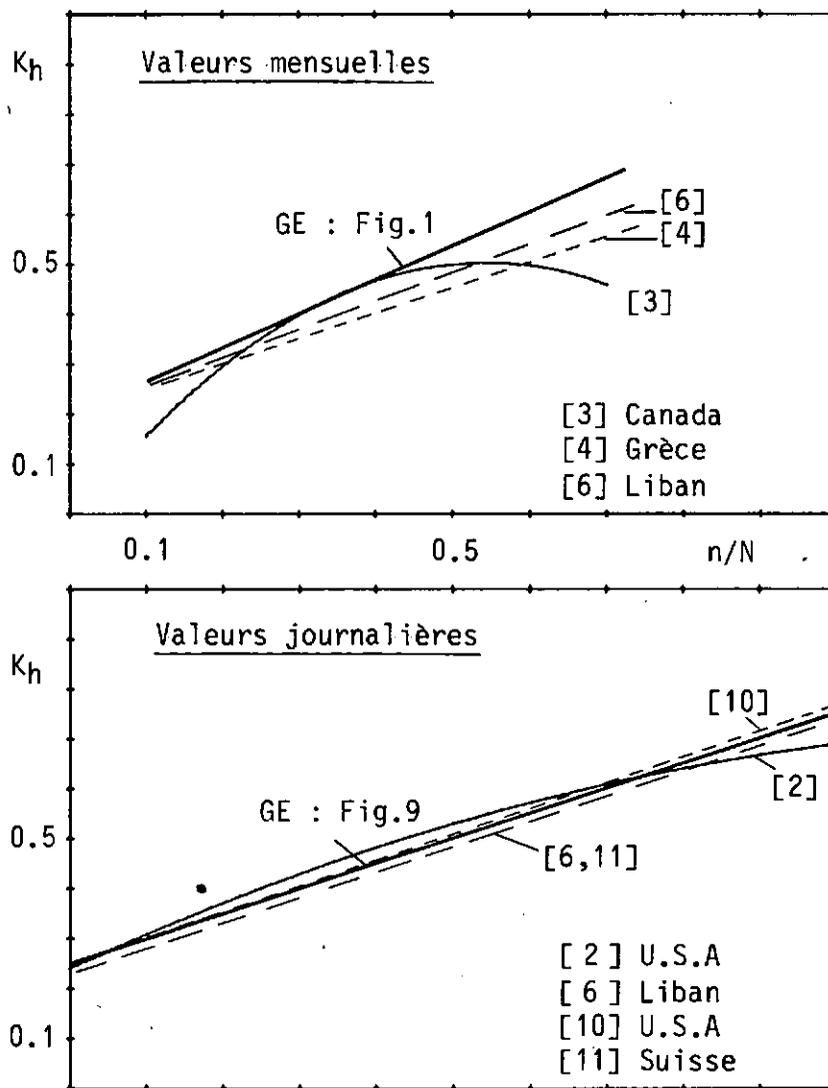


Figure 16 : Comparaison des corrélations $K_b = f(\frac{n}{N})$ pour deux appareils de mesure de n différents.

Période 1978 - 1980 : Campbell Stokes

$$K_b = .601 \left(\frac{n}{N}\right)$$

Période 1981 - 1982 : Haenni

$$K_b = .609 \left(\frac{n}{N}\right)$$

