No. 158

DUREE D'INSOLATION
II: MESURES DE L'INFLUENCE DU SEUIL DE SENSIBILITE

par

Alain Heimo, Payerne

Avril 1990

Durée d'insolation 551.521.11
Contrôle d'instruments 53. 089.6

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

© SMA, Publikationen, CH-8044 Zürich

No. 158

DUREE D'INSOLATION
II: MESURES DE L'INFLUENCE DU SEUIL DE SENSIBILITE

par

Alain Heimo, Payerne

Avril 1990

Durée d'insolation 551.521.11
Contrôle d'instruments 53. 089.6

Résumé

La Station aérologique de l'Institut suisse de météorologie à Payerne a été équipée d'une infrastructure complète destinée aux mesures de rayonnement en général. Dans le but d'étudier l'influence de la valeur seuil de l'irradiance directe sur la mesure de la durée d'ensoleillement, plusieurs héliomètres réglés pour des intensités limites de 200 W/m^2 et 120 W/m^2 ont été installés sur ce site.

Pour la période allant du 1.2.1988 au 31.12.1988, les résultats montrent un excès de 5,5 % de durée d'ensoleillement de l'appareil ayant le seuil de sensibilité le plus faible. Les différences ont été enregistrées principalement en situations de couvertures nuageuses changeantes. Les résultats confirment ceux obtenus lors de la première partie de cette étude à la station ANETZ de Davos.

Zusammenfassung

Die Aerologische Station der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt, die sich in Payerne befindet, wurde mit einer kompletten Infrastruktur für die Messungen der atmosphärischen und der Sonnenstrahlung ausgerüstet. Mit dem Ziel, den Einfluss des Schwellenwertes der direkten Strahlung auf die Sonnenscheindauer zu studieren, wurden mehrere Heliometer auf dem Messfeld installiert, die auf 200 W/m^2 bzw. 120 W/m^2 eingestellt wurden.

Die Messresultate für die Periode vom 1.2.1988 bis 31.12.1988 zeigen, dass das Instrument mit dem kleineren Schwellenwert einen Ueberschuss an Sonnenscheindauer von 5,5 % aufgezeigt hat. Die Unterschiede wurden hauptsächlich während wechselnden Bevölkungsverhältnissen registriert. Diese Resultate bestätigen diejenigen, die während der ersten Phase der Untersuchungen an der ANETZ-Station in Davos erfasst wurden.

Riassunto

La Stazione Aerologica dell'Istituto Svizzero di Meteorologia di Payerne è stata munita di una infrastruttura completa destinata alle misure di irradiazione solare in generale. Con lo scopo di studiare l'influenza del livello minimo d'intensità di irradiazione solare diretta sulla misura della durata dell'insolazione, sono stati installati diversi eliometri tarati per livelli minimi d'intensità di 200 W/m^2 e 120 W/m^2 sul sito di Payerne.

Dal 1.2.1988 al 31.12.1988, i risultati presentano un eccesso del 5,5 % di durata d'insolazione rispetto all'apparecchio tarato a 120 W/m^2. Le differenze sono state registrate principalmente nelle situazioni di coperture nuvolose variabili. I risultati confermano quelli già ottenuti nella prima parte di questo rapporto della stazione ANETZ di Davos.

Summary

The Aerological Station of the Swiss Meteorological Institute, located at Payerne, has been outfitted with a complete infrastructure specially designed for the measurement of the atmospheric and solar radiation. In order to study the influence of the threshold value of the direct irradiance on the solar duration recordings, heliometers adjusted at respectively 200 W/m^2 and 120 W/m^2 thresholds have been added to the instruments on the test field.

For the period extending from the 1.2.1988 to the 31.12.1988, the results show an excess of 5,5 % solar duration for the instrument with the lowest threshold value. The deviations were recorded mainly during rapidly changing cloud cover situations. This confirms the results obtained during the first part of this study which was performed at the ANETZ station located at Davos.

Table des matières

Résumé 1
Table des matières 3
1. Introduction 4
2. Instruments et schéma de mesure 5
2.1 Instruments 5
2.2 Schéma de mesure 7
3. Calcul des valeurs de référence 8
4. Etalonnage des héliomètres 11
5. Etude de l'influence du seuil de sensibilité 17
5.1 Distribution journalière des différences mesurées 18
5.2 Distribution des différences mesurées en fonction de la durée d'ensoleillement. 21
5.3 Effet du seuil de sensibilité sur la durée d'ensoleillement 25
6. Considérations historiques et autres mesures. 27
7. Autres instruments 29
8. Conclusions 30
9. Recommandations 32
Abréviations 33
Références 34
Annexe 1. 35
Annexe 2. 47

1. Introduction

La durée d'insolation est définie par la présence ou l'absence d'insolation selon que l'intensité de la composante directe de l'irradiance solaire prend des valeurs supérieures ou inférieures à un seuil de sensibilité défini par les Recommandations de l'Organisation météorologique mondiale (OMM). A l'heure actuelle, la valeur limite est fixée à 120 W/m² avec une précision de ± 20%, seuil défini dans la Recommandation Nr. 10 de l'OMM, CIMO VIII, Mexico City, 1981.

Chaque station du réseau automatique de mesures météorologiques ANETZ de l'Institut suisse de météorologie est équipée d'un héliomètre destiné à l'enregistrement de la durée d'ensoleillement. Les instruments sont ajustés pour une valeur seuil de 200 W/m². Dans le but de se conformer aux directives de l'OMM et par là d'utiliser les mêmes normes que la communauté internationale, il est prévu de réaliser le changement de définition le 1.1.1991.

Une première étude concernant ce changement de seuil d'intensité a été effectuée à la station ANETZ du Centre mondial du rayonnement à Davos (WRCD) sur des données enregistrées par 2 héliomètres du type Haenni Solar 111B, ajustés pour les valeurs seuil de 200 W/m² et 120 W/m², sur une période de 10 mois allant du 1.3.1986 au 31.12.1986 ([1], Heimo 1987). Les conclusions de ce rapport sont les suivantes :

1- la distribution relative des cas où il existe une différence de durée d'ensoleillement entre les deux instruments est pratiquement indépendante de l'heure de la journée;
2 - la différence de durée d'ensoleillement sur la période considérée est de l'ordre de 4.7%;
3 - l'horizon de la station de Davos, localité située au fond d'une vallée d'orientation Nord-Sud, étant élevé dans toutes les directions, aucune information sur des phénomènes liés aux levers et couchers du soleil n'a pu être obtenue.

Au vu des résultats ci-dessus, il a été décidé de poursuivre le même type de mesure, d'une part dans une station de plaine, d'autre part avec une fréquence plus élevée (30 secondes au lieu de 10 minutes). La Station aérologique de Payerne (SAP) a été choisie pour la poursuite de l'étude parce qu'elle présente les caractéristiques requises du point de vue topographique et abrite la section Instruments (INS), ce qui lui confère une infrastructure optimale pour les mesures météorologiques. Par la suite, ce projet de mesure sera mentionné sous le nom WMO-120.

2. Instruments et schéma de mesure

2.1 Instruments

Les instruments utilisés pour la réalisation des mesures font partie intégrante de l'infrastructure de la SAP. A titre informatif, la liste suivante comprend l'ensemble des capteurs destinés aux mesures du rayonnement effectuées par la section INS.

Projet WMO-120 :

- 2 héliomètres Haenni Solar 111 ajustés à la valeur seuil 200 W/m² (H200, $H200_{ref}$),
- 2 héliomètres Haenni Solar 111 ajustés à la valeur seuil 120 W/m² (H120, $H120_{ref}$),
- 1 pyranomètre K&Z CM11 ventilé et chauffé pour la mesure du rayonnement global horizontal (G),
- 1 pyranomètre K&Z CM11 ventilé et chauffé pour la mesure du rayonnement diffus à l'aide d'un masque mobile éliminant la composante directe du rayonnement solaire (D),
- 1 radiomètre absolu PMO6 à cavité active (PMO6),
- 1 cellule solaire Haenni Solar 130 équipée spécialement pour la mesure relative de l'irradiance directe (SolCel),
- 1 poursuite du soleil semi-active (AST).

Autres instruments :

- plusieurs héliomètres du type SONI/E permettant la mesure de la durée d'ensoleillement et de l'irradiance directe (SONI/En),

- un photomètre triple SPM 2000-1 destiné à mesurer l'irradiance directe spectrale à 3 longueurs d'onde standard (368 nm, 500 nm, 778 nm),

- divers instruments de mesure de la température, de l'humidité et de la pression.

Etalonnages

Les deux pyranomètres K&Z CM11 ainsi que le radiomètre absolu sont étalonnés environ tous les deux ans au WRCD.

Les mesures parallèles des composantes directe, diffuse et globale du rayonnement

permettent de contrôler de façon continue, lorsque les conditions météorologiques le permettent, la stabilité des instruments en admettant le PMO6 comme instrument de référence. Ainsi, par exemple, l'influence du cache mobile utilisé pour la mesure du rayonnement diffus a pu être déterminée en fonction du trouble atmosphérique. Il est prévu d'utiliser la base de données du projet WMO-120 pour effectuer dans le futur une étude spécifique de ce problème et, éventuellement, définir un algorithme de correction.

Acquisition des données :

Un data-logger programmable intelligent du type CR7X de la maison Campbell Scientific Instruments (CSI) est placé à proximité immédiate des instruments et comprend :

- 28 canaux de conversion analogique/digitale de 16 bits de résolution,
- 8 canaux de comptage (fréquence 100 Hz),
- 2 canaux de conversion digitale/analogique programmable de 0 à 5 volts,
- environ 100 Kbytes de mémoire interne,
- un ensemble de batteries tampons,
- 1 sortie RS232C.

Les instruments sont interrogés toutes les 30 secondes par le CR7X et les valeurs organisées dans la mémoire interne cyclique qui est suffisante pour la mémorisation de plus de 6 heures de mesure. Un ordinateur Olivetti M280 situé dans les locaux de la SAP interroge automatiquement le CR7X toutes les 3 heures et organise les données en fichiers binaires journaliers.

Traitement des données :

Les fichiers binaires stockés sur le disque dur de l'ordinateur Olivetti sont traduits en fichiers ASCII à intervalles réguliers (1 fois par jour normalement), puis transférés par ligne téléphonique à haute vitesse sur l'ordinateur principal de l'Ecole polytechnique fédérale de Zürich (EPFZ) où les données sont d'une part archivées, d'autre part chargées dans une banque de données spécialement développée à cet effet. Une compression maximale des valeurs est nécessaire, vu le volume impressionnant du matériel devant être dépouillé (250 Mbytes/année). Une série de programmes de contrôle de qualité est alors utilisée pour obtenir une visualisation graphique directe de tous les paramètres enregistrés.

2.2 Schéma de mesure

Pyranomètres : 1 mesure instantanée toutes les 30 secondes.

Radiomètre absolu : 1 mesure toutes les minutes, l'appareil étant alternativement obturé et ouvert. Les deux signaux mesurés en position fermée encadrant la mesure effective du rayonnement direct sont moyennés et retranchés de l'intensité mesurée en position ouverte ([2], Brusa 1983).

Cellule solaire : 1 mesure instantanée toutes les 30 secondes.

3. Calcul des valeurs de référence

L'étude de l'influence de la valeur du seuil d'intensité des héliomètres nécessite la connaissance précise de l'irradiance directe. Dans le cadre du projet WMO-120, une attention particulière a été accordée à la construction de valeurs de référence pour ce paramètre. Ceci a pu être réalisé grâce à la présence de trois systèmes de mesure indépendants, à savoir les deux pyranomètres, le radiomètre absolu et la cellule solaire.

Dans une première phase, l'irradiance directe est calculée en faisant usage des valeurs mesurées du rayonnement global et du rayonnement diffus ainsi que de la valeur calculée de la position du soleil selon la formule

$$S = (G - D)/\sin(h)$$

où h représente la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon, calculée toutes les 30 secondes à l'aide des tables publiées dans 'The Almanac for Computers 1978, U.S. Naval Observatory'.

Dans la mesure où l'étalonnage des pyranomètres est considéré comme parfait, la valeur de S représente l'irradiance directe recherchée avec une précision de l'ordre de 2% pour les valeurs instantanées. Malheureusement, comme tous les spécialistes en pyranomètrie en ont fait l'expérience, cette précision dans l'étalonnage des pyranomètres n'est jamais atteinte, car ces instruments sont dépendants de plusieurs paramètres, tels que les effets de température, du cosinus de l'angle d'incidence, de la parfaite horizontalité des thermocouples, de la présence de buée, glace ou neige pour les appareils non ventilés, etc... . De plus, l'utilisation d'un cache mobile sous-tendant un angle d'ouverture plus important que le disque solaire (32'), ceci pour des raisons de maintenance, entraîne des erreurs non négligeables dans le calcul de l'irradiance directe dues d'une part à un ajustage imparfait du disque, d'autre part à la portion de l'auréole solaire cachée dont l'importance varie suivant le trouble atmosphérique (diffusion des aérosols dans la direction du soleil) et l'élévation du soleil (diffusion multiple). Un autre effet, moins marqué lors de l'utilisation de pyranomètres thermiquement compensés, provient du fait que le capteur du rayonnement global a une température plus élevée que celui du rayonnement diffus qui se trouve à l'ombre par définition.

L'utilisation d'un radiomètres absolu à cavité active permet de résoudre en partie ce problème. Cet appareil de haute précision et de très grande stabilité a été développé par le WRCD et peut être considéré comme un des meilleurs de sa catégorie. On

peut noter que ce radiomètre fait partie du groupe standard de la Référence mondiale radiométrique (World Radiometric Reference, WRR) et a été plusieurs fois utilisé dans des projets de mesure de la Constante solaire sur ballons stratosphériques et sur satellites. Sa précision est de l'ordre de 0.2%, soit environ un ordre de grandeur plus élevé que pour les pyranomètres. Dans le projet WMO-120, le PMO6 est utilisé, d'une part pour permettre un étalonnage continuel des deux pyranomètres, d'autre part pour se substituer à eux en cas de conditions atmosphériques appropriées. L'introduction future de systèmes automatiques de mesure du type RASTA indépendants des conditions météorologiques permettra de procéder à la mesure continuelle de l'irradiance directe sans devoir se servir de pyranomètres.

Le temps de réponse du radiomètre absolu étant de l'ordre de la minute, une valeur instantanée de l'irradiance directe peut être obtenue toutes les 2 minutes (une mesure avec l'instrument obturé suivie d'une mesure avec l'instrument ouvert). Pour permettre une interpolation de l'irradiance directe pour toutes les 30 secondes, les intensités mesurées par la cellule solaire montée sur la poursuite du soleil et munie d'un tube définissant un angle d'ouverture de l'ordre de 15 degrés sont utilisées. En considérant que la température de l'instrument, la répartition spectrale du rayonnement et l'intensité de l'auréole solaire ne varient pas de façon significative sur une durée de 2 minutes, une interpolation basée sur les variations de l'intensité enregistrées par la cellule est justifiée. Dans le but d'obtenir des valeurs de la cellule solaire aussi proches que possible de celles du PMO6, une série de régressions logarithmiques basées sur l'ensemble des données à disposition a été effectuée. Les coefficients de régression ainsi obtenus permettent d'ajuster la réponse de la cellule de façon approximative.

La limite de cette méthode est atteinte lors de conditions météorologiques changeant rapidement, c'est à dire en présence d'une couverture nuageuse variable. Dans ce cas, les valeurs issues du PMO6 ne sont plus utilisables du fait du temps de réponse trop élevé du radiomètre, ce phénomène pouvant entraîner des erreurs importantes. Cette particularité est également caractéristique des pyranomètres, quoique dans une moindre mesure. En principe, seule l'utilisation d'une cellule solaire pourrait pallier à cet effet grâce au temps de réponse quasi-instantané de ces instruments. Il est malheureusement notoire que l'étalonnage précis de ces capteurs est difficile et donne des résultats qui ne sont pas d'une précision suffisante pour une telle application.

Cependant, il est possible de faire usage des diverses informations mentionnées ci-dessus pour construire une valeur de référence utilisable et relativement précise :

1 - en l'absence de mesures du rayonnement direct, les valeurs de l'irradiance calculées à partir des pyranomètres sont choisies;

2 - en présence de mesures du rayonnement direct, les valeurs mesurées par le PMO6 et interpolées grâce à la SolCel sont considérées comme valables;

3 - en cas de changement rapide d'intensité directe, les valeurs pyranométriques sont choisies lorsque la différence des intensités calculées et mesurées dépasse 20%;

4 - lorsque la poursuite du soleil 'perd' sa position pour une raison ou une autre, les valeurs radiométriques restent valables tant que la variation du signal de la cellule solaire par rapport à la mesure précédente ne dépasse pas 10% car l'angle d'ouverture de cette dernière est bien plus important que celui du radiomètre.

L'utilisation des critères de sélection ci-dessus permet de construire des valeurs de référence de l'irradiance directe utilisables dans le cadre du projet WMO-120 avec une précision de l'ordre de 2% à 3%.

4. Etalonnage des héliomètres

La détermination de l'influence du seuil de sensibilité des héliomètres implique une connaissance précise de cette valeur pour les deux séries d'instruments.

En ce qui concerne les héliomètres réglés sur 200 W/m^2 , la procédure d'étalonnage est volontairement en tous points identique à celle utilisée pour le réseau ANETZ. Une première calibration est effectuée en laboratoire à l'aide d'un montage optique adéquat et bien défini. Il est à remarquer que les calottes de verre des instruments Haenni ne présentent pas toujours une homogénéité parfaite, si bien qu'une valeur moyenne du seuil doit être déterminée par une série de mesure sous plusieurs orientations. Les instruments sont ensuite placés sur le terrain d'essai, en position finale de fonctionnement, et la procédure d'étalonnage répétée pour s'assurer de la stabilité de l'ajustage du seuil. L'utilisation de deux instruments identiques permet de contrôler par redondance toute détérioration de l'une ou l'autre des unités.

Pour les héliomètres ajustés à la nouvelle valeur de 120 W/m^2 , une extrapolation linéaire est effectuée sur la base de la procédure décrite précédemment.

Il serait en principe possible de déterminer en continu les valeurs seuil actuelles à partir des valeurs du rayonnement directe de référence. Il faut ici distinguer deux procédures différentes :

1) par temps clair, au lever et au coucher du soleil, les variations de l'irradiance directe sont suffisamment lentes pour permettre une interpolation des intensités de référence et une détermination précise de la valeur seuil;

2) par nébulosité changeante, les variations de l'intensité directe ne sont en général pas linéaires. Il est alors nécessaire de ne choisir que les cas où la valeur de seuil a été atteinte au début ou à la fin des 30 secondes d'intégration, c'est à dire pour des valeurs de la durée d'ensoleillement passant de 0 à 30, respectivement de 30 à 0 secondes, et d'utiliser l'intensité de référence correspondante. Cependant, comme les pyranomètres et le radiomètre absolu sont des instruments lents, l'erreur sur la valeur de référence risque d'être élevée. Un traitement statistique des résultats ainsi obtenus devrait pourtant donner une indication relativement précise sur la valeur seuil, dans la mesure où aucun autre effet systématique ne vienne fausser les mesures, ce qui n'est pas évident à priori.

La figure 1 présente les résultats des calculs effectués selon le premier schéma ci-

dessus. Il faut noter que les instruments H200 et H120 ont été étalonnés au début des mesures (janvier 1988), puis une nouvelle fois le 7.7.1988 lors de l'installation des héliomètres $H200_{ref}$ et $H120_{ref}$. Les cas considérés ont été échantillonnés sur la base des représentations graphiques de contrôle effectuées de façon routinière. L'étude des quatres diagrammes montre que les valeurs seuil ainsi obtenues ne correspondent pas de façon précise à la valeur d'étalonnage théorique:

H200 :	179 W/m²	± 32	pour 118 cas,
H120 :	123 W/m²	± 33	pour 104 cas,
$H200_{ref}$:	225 W/m²	± 49	pour 73 cas,
$H120_{ref}$:	148 W/m²	± 51	pour 87 cas.

Toutefois, les remarques suivantes peuvent être énoncées :

- Les instruments H200 et H120 montrent une stabilité satisfaisante de la valeur du seuil quoique le premier semble être ajusté à une intensité un peu trop faible. Il faut remarquer que l'étalonnage du mois de juillet n'a pas entraîné de changements notables pour les deux appareils. La déviation standard est acceptable si l'on tient compte du fait que l'homogénéité des calottes de verre est plus que douteuse, ce qui se manifeste par le choix d'une valeur **moyenne** lors d'étalonnages multi-directionnels. De plus les remarques du chapitre précédent concernant l'utilisation de pyranomètres pour obtenir des valeurs de référence de l'irradiance directe doivent être prises en considération : les valeurs du seuil présentées ci-dessus sont calculées pour des élévations du soleil très faibles, lorsque l'influence du masque mobile du pyranomètre D se fait importante et, surtout, lorsque les valeurs absolues du G et du D sont peu élevées. Les comparaisons effectuées avec le radiomètre absolu permettent d'estimer l'erreur maximale sur le calcul de l'irradiance directe à environ 10% aux levers et couchers du soleil.

- Les instruments $H200_{ref}$ et $H120_{ref}$ montrent un comportement similaire bien que la déviation standard soit un peu plus élevée. Ces deux appareils étant installés à environ 1.5 mètres du sol devant la poursuite du soleil, il est possible qu'ils subissent des influences perturbatrices difficilement contrôlables de l'environnement .

Dans le but d'étudier la dépendance directionnelle des instruments, les résultats précédents sont présentés dans la figure 2 en fonction de l'angle d'azimut du soleil (Est : 90°, Sud : 180°, Ouest : 270°, ...). On peut remarquer qu'une légère diminution

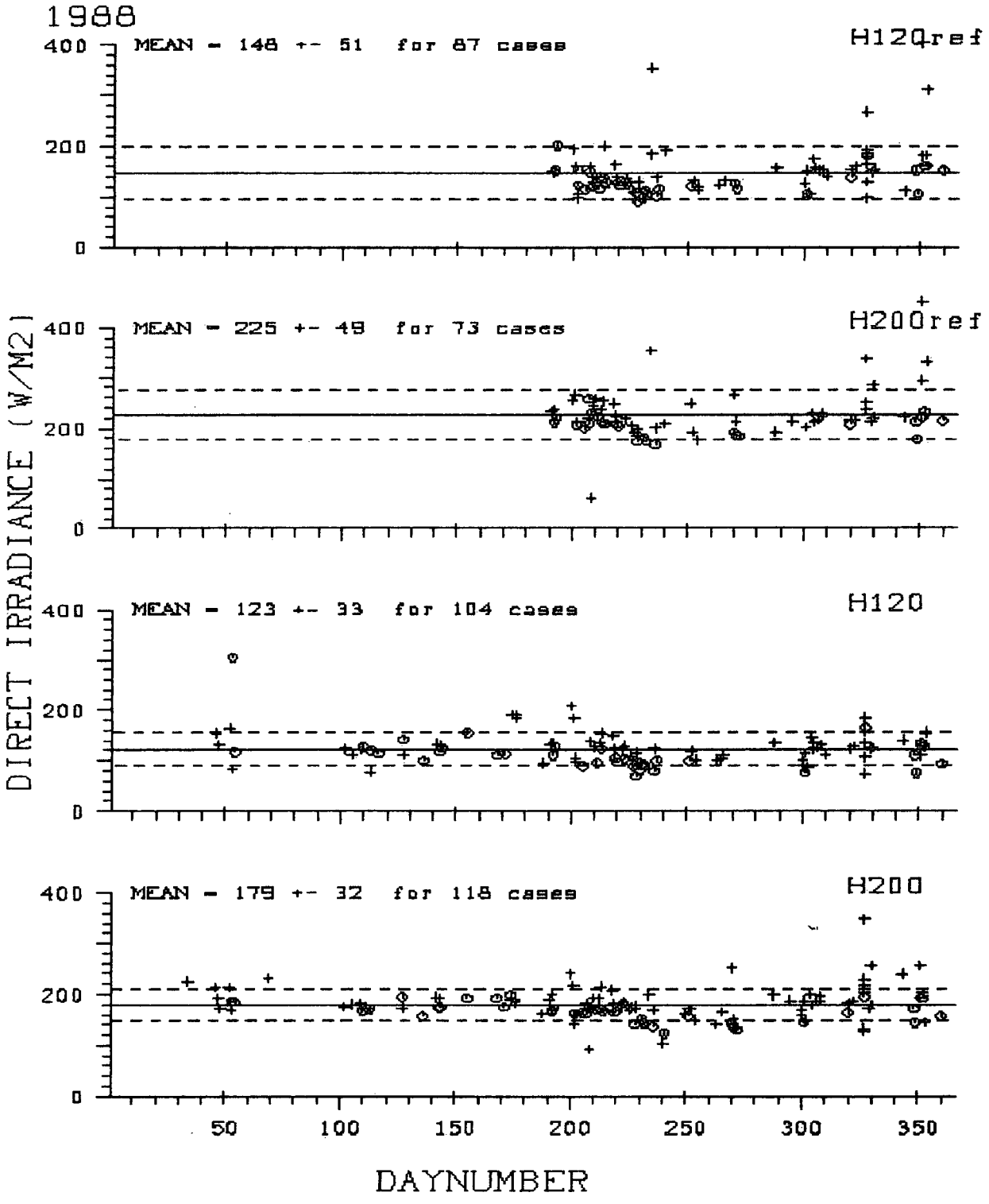

Figure 1 : Valeurs du seuil d'intensité des héliomètres H200, H120, $H200_{ref}$ et $H120_{ref}$ en fonction du jour de l'année 1988 déterminées à l'aide de la première procédure décrite dans le texte. La moyenne (trait plein) ainsi que la déviation standard (pointillé) et le nombre de cas considérés sont indiqués sur chaque diagramme. Les cercles représentent les mesures effectuées le matin, les croix aux couchers du soleil.

du seuil d'intensité semble exister pour certaines orientations : H200 à 80°, $H120_{ref}$ à 290°, etc.... L'effet n'est cependant pas suffisamment marqué pour en tirer une conclusion définitive au vu des présentes mesures. Cependant, il est à noter que de telles dépendances de l'angle d'azimut ont été mesurées pour d'autres appareils dans le cadre d'un projet de mesure complémentaire en cours à l'Institut suisse de météorologie (projet COMRAD).

Au vu de ce qui précède, il est possible d'admettre que les 4 héliomètres utilisés pour ce projet sont ajustés à des valeurs du seuil d'intensité suffisamment précises pour permettre d'étudier l'influence du passage de 200 W/m^2 à 120 W/m^2 .

La deuxième procédure présentée ci-dessous est intéressante car elle illustre la difficulté de saisir un phénomène physique relativement rapide à l'aide d'instruments dont la constante de temps est plus élevée que les variations étudiées. La figure 3 présente les résultats obtenus pour les instruments H200 et H120 en fonction de la hauteur du soleil ce qui permet de s'affranchir des variations horaires des levers et couchers du soleil. Les valeurs seuil ainsi obtenues sont les suivantes :

H200 : 142.1 ± 50.6 W/m^2 pour 509 cas,
H120 : 90.3 ± 35.7 W/m^2 pour 502 cas.

Les seuils d'intensité inférieurs résultant de l'utilisation de cette méthode d'évaluation et les déviations standards supérieures au cas précédent peuvent être en partie expliquées de la manière suivante. Les pyranomètres et le radiomètre absolu sont des instruments dont la constante de temps est de l'ordre de plusieurs dizaines de secondes. Lors d'un changement brusque de l'intensité de l'irradiance directe, ils sont donc soit au dessus, soit au dessous de la valeur réelle selon que le rayonnement diminue ou augmente. Ceci est particulièrement important dans le cas présent où seuls les passages de 30 à 0 secondes, respectivement de 0 à 30 secondes sont choisis, c'est à dire où la variation de l'irradiance directe est très rapide. On pourrait cependant s'attendre à ce qu'un traitement statistique de ces mesures compense ces effets inverses. L'étude de la figure 3 montre que ceci n'est pas le cas et qu'un autre phénomène influence probablement les mesures. Il pourrait s'agir d'une caractéristique des héliomètres ou des instruments de référence. Une étude approfondie sur banc optique en laboratoire sera nécessaire pour éclaircir ce problème.

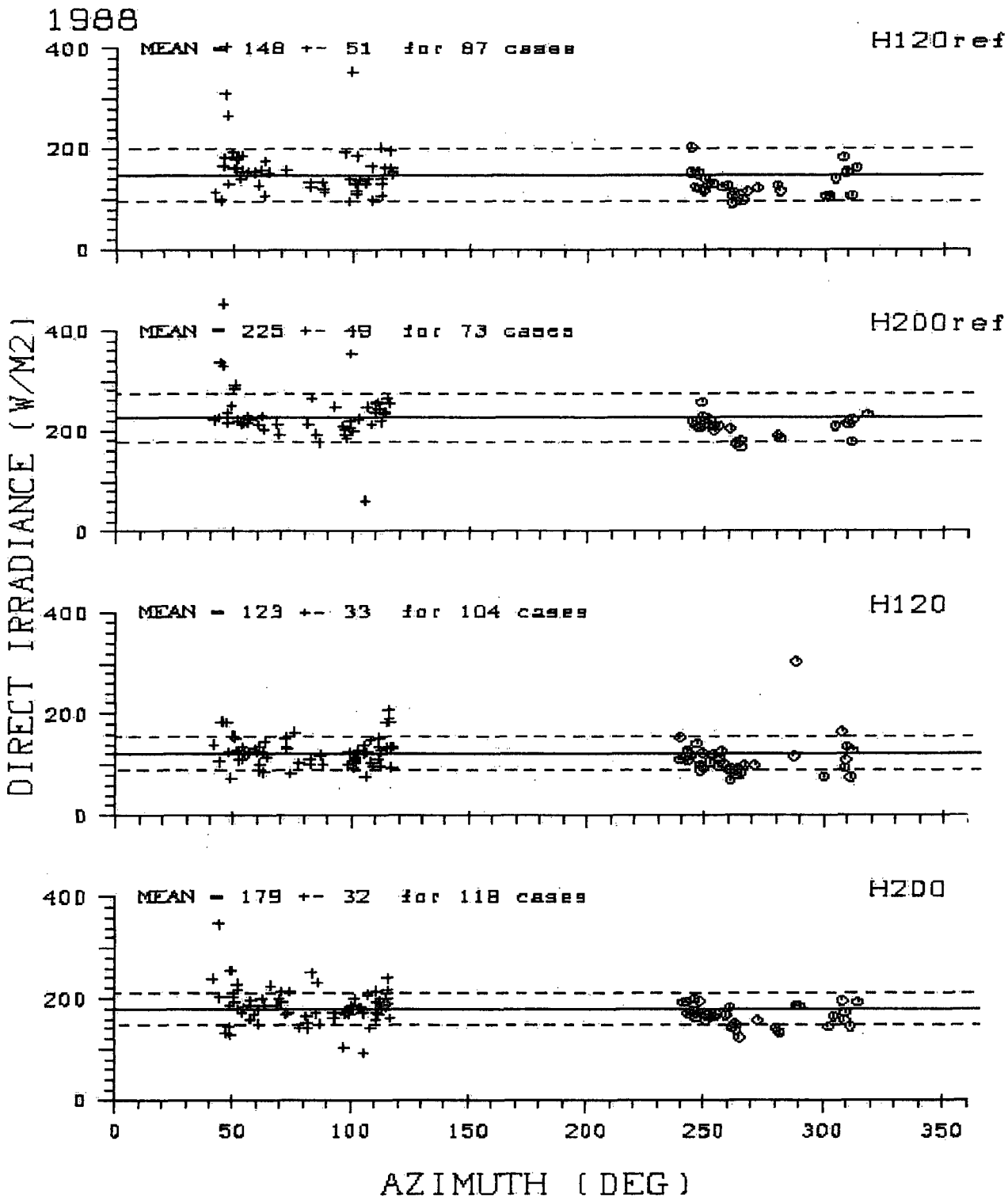

Figure 2 : Valeurs du seuil d'intensité des héliomètres H200, H120, $H200_{ref}$ et $H120_{ref}$ en fonction de l'angle d'azimut du soleil (Nord : 0°, Est : 90°, Sud : 180°) déterminées à l'aide de la première procédure décrite dans le texte. La moyenne (trait plein) ainsi que la déviation standard (pointillé) et le nombre de cas considérés sont indiqués sur chaque diagramme.

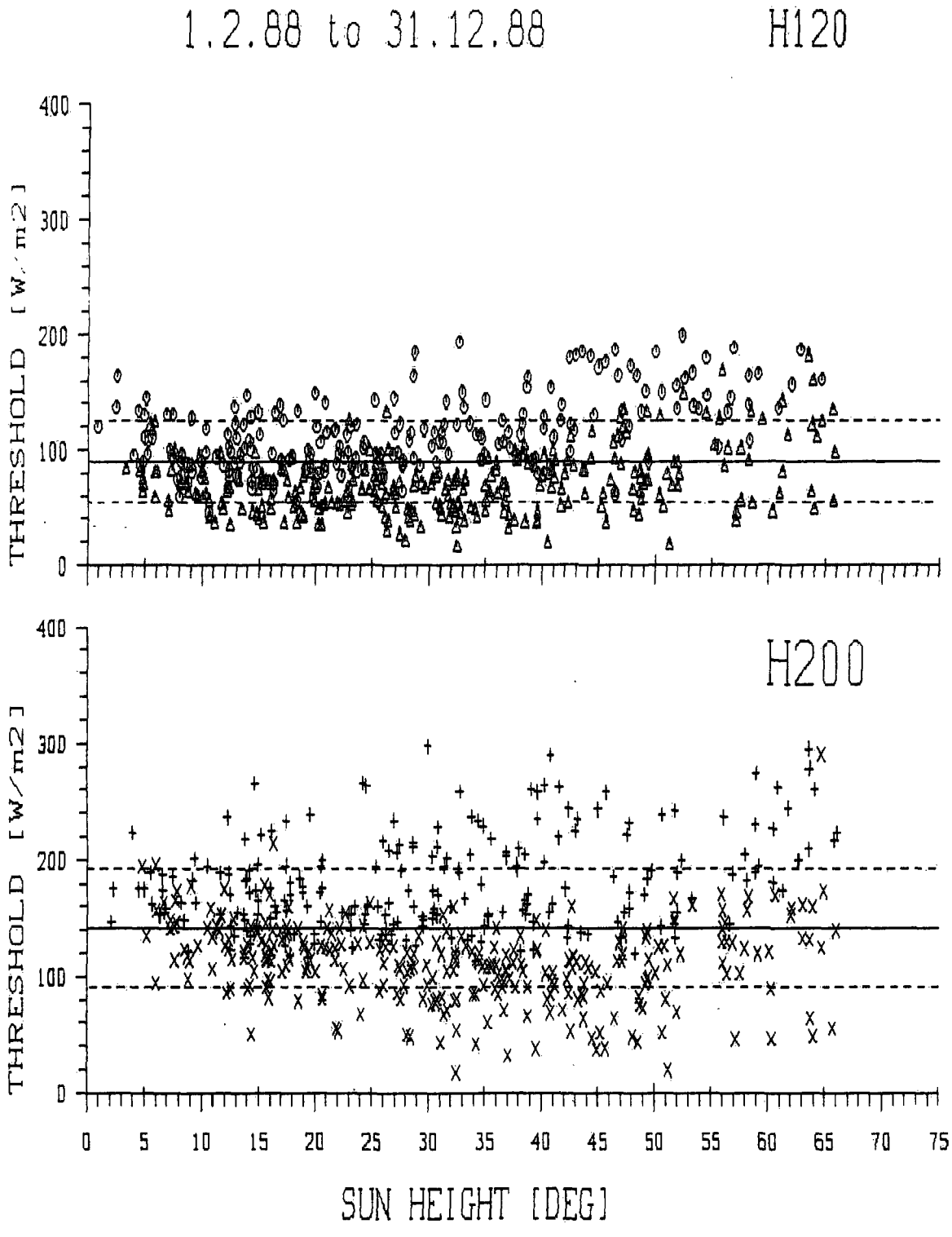

Figure 3 : Valeurs du seuil d'intensité des héliomètres H200 et H120 en fonction de l'angle d'élévation du soleil déterminées selon la deuxième procédure décrite dans le texte. Les symboles + (H200) et o (H120) sont attribués aux cas où l'intensité décroit, x (H200) et Δ (H120) aux valeurs croissantes de l'irradiance. Les lignes continues représentent les moyennes des intensités, les lignes pointillées les déviations standards.

5. Etude de l'influence du seuil de sensibilité

Dans le but de faciliter une comparaison avec la première étude effectuée sur ce sujet [1], une présentation équivalente des résultats est en partie utilisée ci-dessous.

5.1 Distribution journalière des différences mesurées

La période choisie pour la comparaison des mesures effectuées par H200 et H120 va du 1.2.1988 au 31.12.1988. Dans l'ensemble, les 2 instruments ont fonctionné de manière satisfaisante sauf pour la période allant du 22.6.1988 au 4.7.1988 pendant laquelle une panne du H120 a imposé une révision totale de l'appareil chez le constructeur suivi d'un nouvel étalonnage opéré par les collaborateurs de la section INS selon le schéma décrit précédemment. Pendant cette période, les valeurs du H120 ont été remplacées par celles du H200. Toutefois, certaines mesures précédant cette période ont été conservées, bien que douteuses. L'influence de cette panne sera commentée par la suite.

La durée d'ensoleillement totale enregistrée par le H200 pour la période considérée est de 1591h 32' 44" et de 1679h 46' 35" en ce qui concerne le H120. Cette dernière valeur représente un minimum car elle ne tient pas compte de la panne de l'appareil mentionnée ci-dessus. La différence enregistrée entre les deux capteurs s'élève à 88h 13' 51" (317631 secondes), soit une augmentation de la durée d'ensoleillement de plus de 5.5%, ce qui représente une déviation journalière moyenne de l'ordre de 15' . L'étude préliminaire effectuée à Davos pour la période allant de mars à décembre 1986 avait montré une différence de 4.7% [1]. Ces deux résultats sont donc parfaitement compatibles.

La répartition de l'augmentation de la durée d'ensoleillement par mois se présente comme suit :

février 1988	: 7h 42' 57"
mars 1988	: 9h 06' 30"
avril 1988	: 10h 33' 35"
mai 1988	: 10h 31' 14"
juin 1988	: 3h 19' 51"
juillet 1988	: 7h 04' 45"
août 1988	: 9h 38' 03"
septembre 1988	: 9h 04' 10"
octobre 1988	: 7h 36' 22"

novembre 1988 : 6h 07' 50"
décembre 1988 : 7h 28' 34"

On trouvera dans l'annexe 1 les résultats complets des mesures effectuées par H200 et H120 exprimés en sommes journalières, mensuelles et totale.

Pour pallier à l'influence des fluctuations de l'heure locale, l'angle d'élévation du soleil est choisi comme référence dans ce qui suit, contrairement au traitement décrit dans [1] où l'heure UT était utilisée.

L'augmentation de plus de 5.5% de la durée d'ensoleillement se répartit en 27292 cas. Le tableau 1 présente la répartition de ces événements en fonction de classes de 5 degrés de l'angle d'élévation du soleil ainsi que la durée totale de la déviation pour chaque classe. On remarque à la lecture de ces résultats le nombre élevé des cas où la différence enregistrée par les deux capteurs est négative. Ceci est la conséquence du mauvais fonctionnement du H120 précédent la période du 22.6.1988 au 4.7.1988.

La figure 4 donne une représentation graphique de la fréquence relative des valeurs présentées dans le tableau 1. La courbe pleine se réfère à la distribution des intervalles de 30 secondes où la différence entre H200 et H120 est positive. Ainsi, pour un angle d'élévation du soleil compris entre 0 et 5 degrés, 5.4% du total des cas de déviations positives se retrouvent dans cette classe. L'ensemble de la courbe est marquée par un comportement très régulier indiquant que l'apparition de différences de la durée d'ensoleillement est relativement indépendante de la position du soleil et que les périodes des levers et couchers du soleil jouent un rôle relativement mineur. La classe 0-5 degrés doit, bien entendu, être considérée avec prudence de par l'influence faible, mais tout de même réelle, de l'horizon du lieu de mesure. En ce qui concerne les angles d'élévation élevés du soleil, un fléchissement du nombre de cas est à relever. Ceci pourrait être expliqué par la prépondérance de nuages de type Cu aux bords bien marqués pendant les mois d'été.

La courbe en pointillé donne la distribution relative par classe d'élévation du soleil de la différence positive totale de la durée d'ensoleillement.

Mise à part la classe 0 - 5 qui est influencée par l'horizon de la station, il est clair que la distribution relative des écarts de la durée d'ensoleillement est inversement proportionnelle à l'élévation du soleil. La figure 5 présente, pour les situations où une différence positive entre H200 et H120 existe, les valeurs moyennes de la différence de durée d'ensoleillement par classe d'élévation du soleil, ce qui revient à diviser les valeurs en pointillé par les valeurs en trait plein de la figure 4. Il ressort

h [deg]	*	A+	B+[sec]	A-	B-[sec]
0	*	0	0	0	0
0 - 5	*	1346	36087	0	0
5 - 10	*	2909	72522	8	-228
10 - 15	*	2547	52609	63	-1890
15 - 20	*	2794	43343	110	-3265
20 - 25	*	2523	35184	119	-3541
25 - 30	*	2731	30683	134	-3930
30 - 35	*	2111	22216	123	-3297
35 - 40	*	1939	16745	28	-519
40 - 45	*	2094	16870	75	-594
45 - 50	*	1474	8917	191	-881
50 - 55	*	934	4647	408	-3507
55 - 60	*	829	4737	452	-3749
60 - 65	*	640	3288	434	-4487
65 - 70	*	133	720	143	-1049
TOTAL	*	25004	348568	2288	-30937

Tableau 1 : Répartition des cas où la différence entre H200 et H120 par intervalle de 30 secondes est non nulle en fonction de classes de 5 degrés de l'angle d'élévation du soleil (h).

A+ : nombre de cas où la différence est positive
A- : nombre de cas où la différence est négative
B+ : différence totale de la durée d'insolation pour A+
B- : différence totale de la durée d'insolation pour A-.

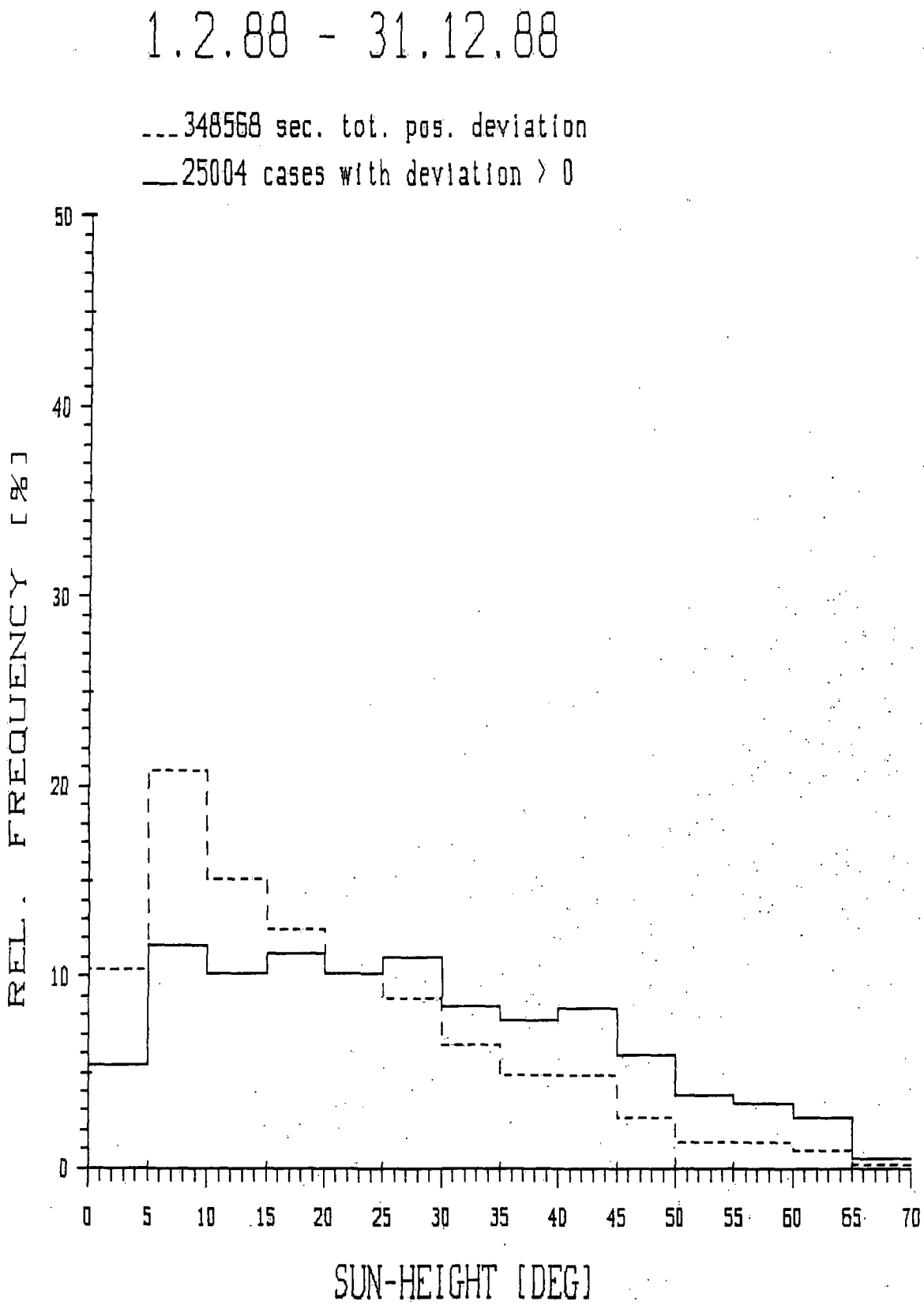

Figure 4 : Distribution relative des cas (25'004) présentant une déviation positive entre H200 et H120 (courbe pleine) et de la différence totale positive de la durée d'ensoleillement (348'568 secondes, pointillé) pour la période considérée (1.2.1988 - 31.12.1988) en fonction de la hauteur du soleil.

de l'étude de la figure 5 que la différence moyenne de durée d'ensoleillement par intervalle d'intégration de 30 secondes va en décroissant lorsque l'angle d'élévation du soleil augmente.

A la faveur des résultats exposés ci-dessus, il est possible de conclure que, d'une part les différences de durée d'insolation obtenues en passant de la valeur seuil de 200 W/m^2 à 120 W/m^2 sont réparties de manière à peu près homogène tout au long de la journée, d'autre part que la valeur moyenne des écarts de durée d'ensoleillement est inversement proportionnelle à l'élévation du soleil.

5.2 Distribution des différences mesurées en fonction de la durée d'ensoleillement.

Les résultats présentés ci-dessus peuvent être complétés par une approche un peu différente de l'évaluation des mesures. Prenant le H200 comme référence, il s'agit d'étudier la distribution des déviations entre les deux instruments en fonction de la durée d'ensoleillement. Le tableau présenté en annexe 2 permet de procéder à une évaluation précise des caractéristiques de cette répartition :

- la première colonne indique la différence de durée d'ensoleillement pour laquelle les groupes de trois valeurs définis ci-dessous sont représentatifs (-30 .. +30 secondes),

- les colonnes suivantes présentent les fréquences relatives des déviations pour chaque durée d'ensoleillement mesurée par le H200 réparties en groupes de trois valeurs définies au début du tableau (colonne 2 : 0,11 et 22 secondes de durée d'ensoleillement, respectivement);

- à titre d'exemple (p. 50), la valeur marquée 1 indique que 96.1% des cas de durée d'ensoleillement de 0 seconde montrent une différence de 0 seconde. La valeur marquée 2 signifie que 10.7% des cas de durée d'ensoleillement de référence de 18 secondes présentent une déviation positive de 1 seconde.

La figure 6 donne une vue tri-dimensionnelle complète de ces résultats. Les deux abscisses indiquent respectivement la durée d'ensoleillement de référence et les différence mesurées entre H120 et H200. L'ordonnée donne la répartition relative en % des différences de durée d'ensoleillement par valeur de référence.

Le nombre élevé des fréquences d'apparition des valeurs complémentaires de la durée d'ensoleillement de référence (p. ex. durée d'ensoleillement de 20 secondes, différence de +10 secondes) s'explique par le fait qu'elles représentent tous les cas

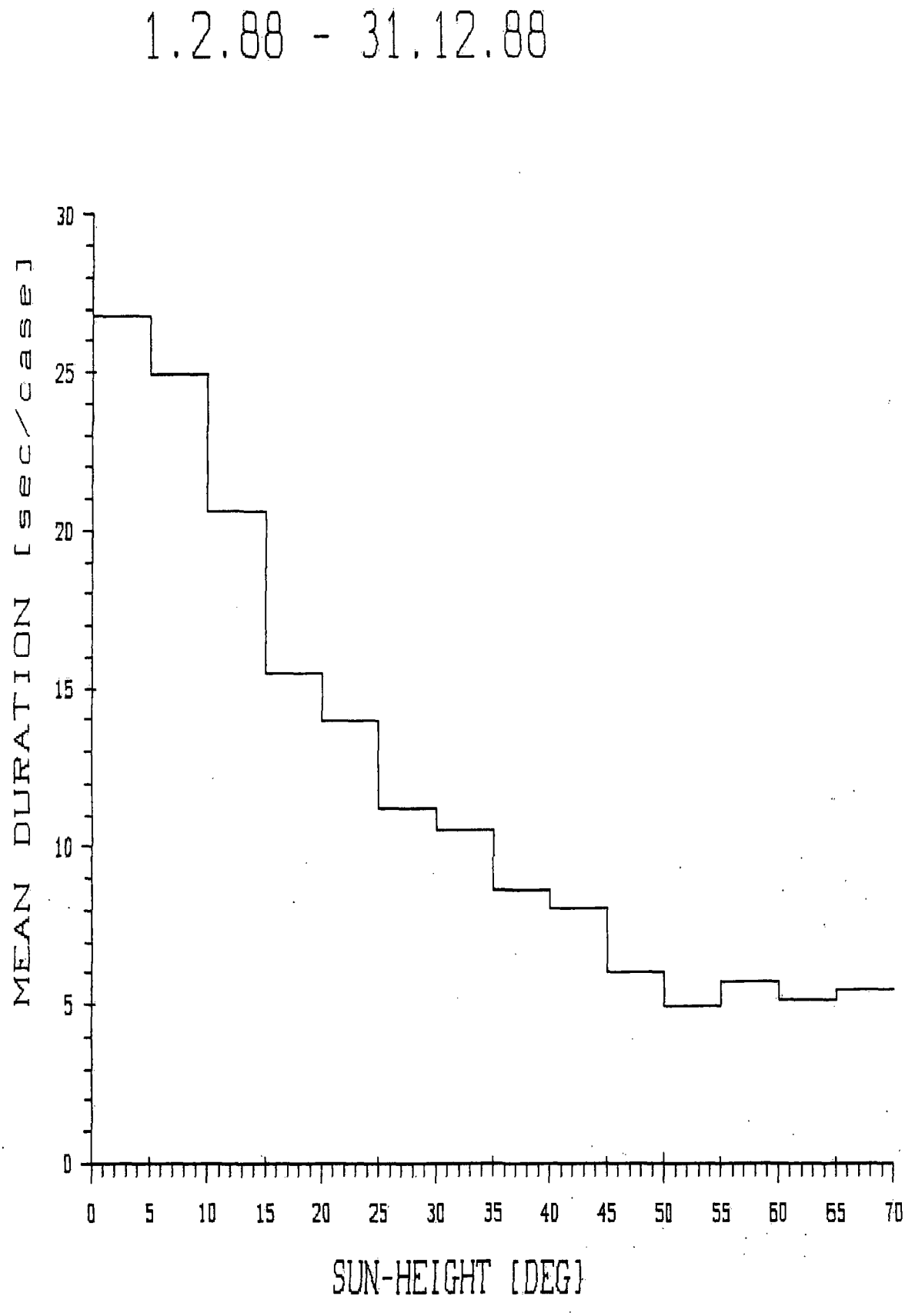

Figure 5 : Valeurs moyennes par situation de différence positive des différences enregistrées entre H200 et H120 en fonction de la hauteur du soleil pour la période considérée (1.2.1988 - 31.12.1988).

où les différences de durée d'ensoleillement excèdent l'intervalle considéré de 30 secondes, par exemple lorsqu'une différence de l'ordre de une à deux minutes a été enregistrée au lever ou au coucher du soleil. Ces valeurs ne sont en soit pas représentatives du phénomène étudié, mais illustrent la conséquence négative découlant du choix d'une période d'intégration très courte qui entraîne le débordement des différences mesurées sur plusieurs intervalles.

L'étude du tableau 2 et de la figure 6 y afférente amène un certain nombre de remarques :

- pour une durée d'ensoleillement référence de 30 secondes, 99.5% des cas sont situés dans la classe de différence de 0 secondes;

- pour une durée d'ensoleillement de référence de 0 secondes, 96.1% des cas sont également situés dans la classe de différence de 0 seconde, le reste se répartissant de manière plus ou moins homogène sur les différences positives;

- pour les durées d'ensoleillement intermédiaires, les répartitions des différences se présentent sous la forme d'un plateau incliné reposant sur la crête d'environ 10% des différences nulles et s'affaissant en direction des différences entre H120 et H200 positives;

- une extrapolation des résultats au-delà de la limite des 30 secondes peut être considérée car les phénomènes physiques en jeu ne devraient pas présenter a priori de discontinuités comme l'a montré l'étude précédente [1].

Une interprétation générale concernant ces mesures doit se référer à la vitesse de transition de l'irradiance directe qui est dépendante des conditions météorologiques régnant sur le site de mesure: couverture nuageuse, vitesse du vent, trouble atmosphérique. Les cas de durées d'ensoleillement minimales et maximales sont évidents, car ils sont représentatifs de situations de couvertures nuageuses totales et nulles. Les cas intermédiaires illustrent la fréquence de la vitesse de variation du rayonnement direct. Ainsi, environ 10% des cas (différences nulles) sont représentatifs de changements extrêmement rapide de moins de 1 seconde entre les valeurs de 200 W/m^2 et 120 W/m^2 . La répartition des 90% des cas restants dépend des variations de la vitesse de transition mentionnée. L'inclinaison du plateau reste quant à elle globalement constante.

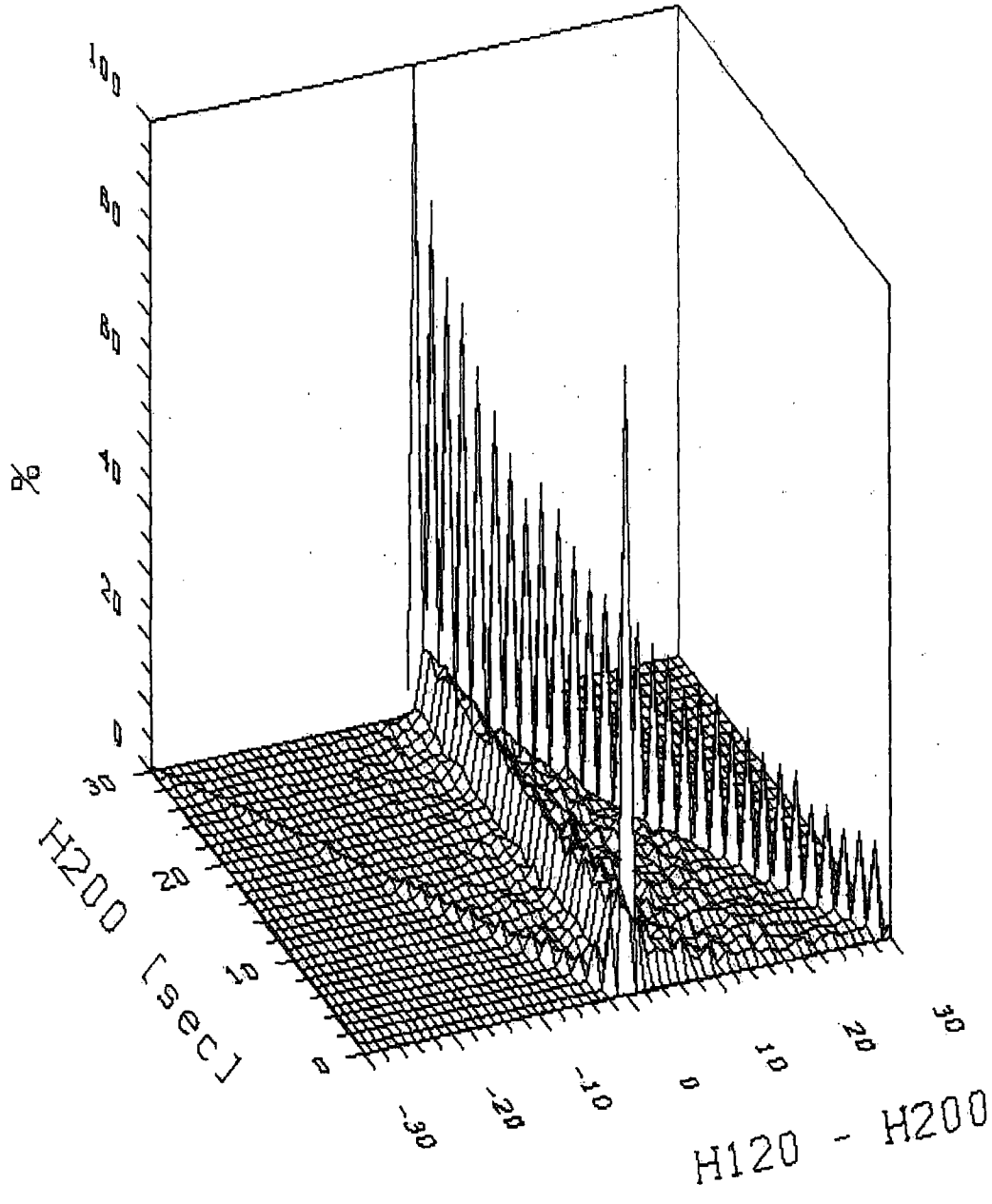

Figure 6 : Représentation tri-dimensionnelle de la distribution relative des différences entre H120 et H200 en fonction de la durée d'ensoleillement mesurée par H200 (voir texte).

5.3 Effet du seuil de sensibilité sur la durée d'ensoleillement

L'étalonnage des quatres héliomètres Haenni 111B impliqués dans le présent projet a permis d'obtenir des valeurs approximatives de l'ajustage des seuils de sensibilité. D'autre part, pour la période allant du 15.7.1988 au 31.12.1988, les quatre instruments ont fonctionné simultanément, rendant possible le calcul de la durée d'ensoleillement totale pour ces 5,5 mois de mesures. Le tableau suivant résume les valeurs obtenues :

Instr.	Seuil [W/m²]	Durée [heures]
H200	179 ± 32	768.74
H120	123 ± 33	813.18
$H200_{ref}$	225 ± 49	750.19
$H120_{ref}$	148 ± 51	809.65
C200	208	732.8 (*)
C120	121	811.3
ASTA	200	769.0

(*) Cet instrument était défectueux pendant cette période; il a été échangé le 23.12.1988. Il n'en est pas tenu compte dans les calculs suivants.

Les instruments C200 et C120 font partie du projet de mesure COMRAD (voir ci-dessous). L'appareil ASTA est le capteur officiel du réseau ANETZ dont la valeur seuil nominale est de 200 W/m².

La figure 7 présente le résultat d'une régression linéaire effectuée sur les valeurs d'ensoleillement relatives en prenant le H200 comme référence. Ce graphique montre que les différences du seuil de sensibilité entraînent des variations de la durée d'ensoleillement approximativement linéaires avec une pente de l'ordre de 0.82%/W/m². Un étalonnage plus précis de la valeur du seuil de sensibilité des héliomètres permettrait de mieux spécifier le type de relation existant entre la durée d'ensoleillement d'une part, la sensibilité de l'instrument d'autre part.

Dans le cadre du projet complémentaire COMRAD mentionné ci-dessus, une étude similaire a été effectuée sur deux appareils Haenni 111B réglés respectivement à 200 W/m² (C200) et 120 W/m² (C120). Notons que ces instruments ont été étalonnés avec grand soin à de multiples reprises et semblent très proches de leur valeurs nominales. En considérant qu'une relation linéaire existe entre seuil d'intensité et durée d'ensoleillement, une nouvelle valeur des seuils d'intensité pour les cinq instruments concernés est calculée en prenant comme référence le C120 qui semble

être l'instrument le mieux connu et le plus stable :

H200 :	185 W/m² (contre 179 W/m²)
H120 :	118 W/m² (contre 123 W/m²)
$H200_{ref}$:	213 W/m² (contre 225 W/m²)
$H120_{ref}$:	123 W/m² (contre 148 W/m²)
ASTA :	185 W/m² (contre 200 W/m² nominal)

Ces valeurs remarquablement proches de celles déduites des mesures de l'irradiance directe montre d'une part qu'une relation globalement linéaire existe entre l'intensité du seuil de sensibilité et la durée d'ensoleillement, d'autre part que les différentes méthodes utilisées fournissent des résultats cohérents, enfin que les étalonnages doivent être effectués avec le plus grand soin selon une méthode améliorée se rapprochant de celle utilisée dans le cadre de COMRAD. Il faut également noter que les deux instruments $H200_{ref}$ et $H120_{ref}$ présentent des caractéristiques qualitatives inférieures, phénomène qui a déjà été mentionné auparavant.

Inversement, en admettant que l'existence d'une telle relation linéaire reflète le phénomène physique en jeu, il est possible d'apprécier la qualité des valeurs d'étalonnage des quatres instruments concernés en considérant le coefficient de corrélation de 0.97 obtenu avec ces mesures, ce qui tendrait à indiquer que les déviations standards précédentes sont trop élevées et que les données devraient encore être épurées.

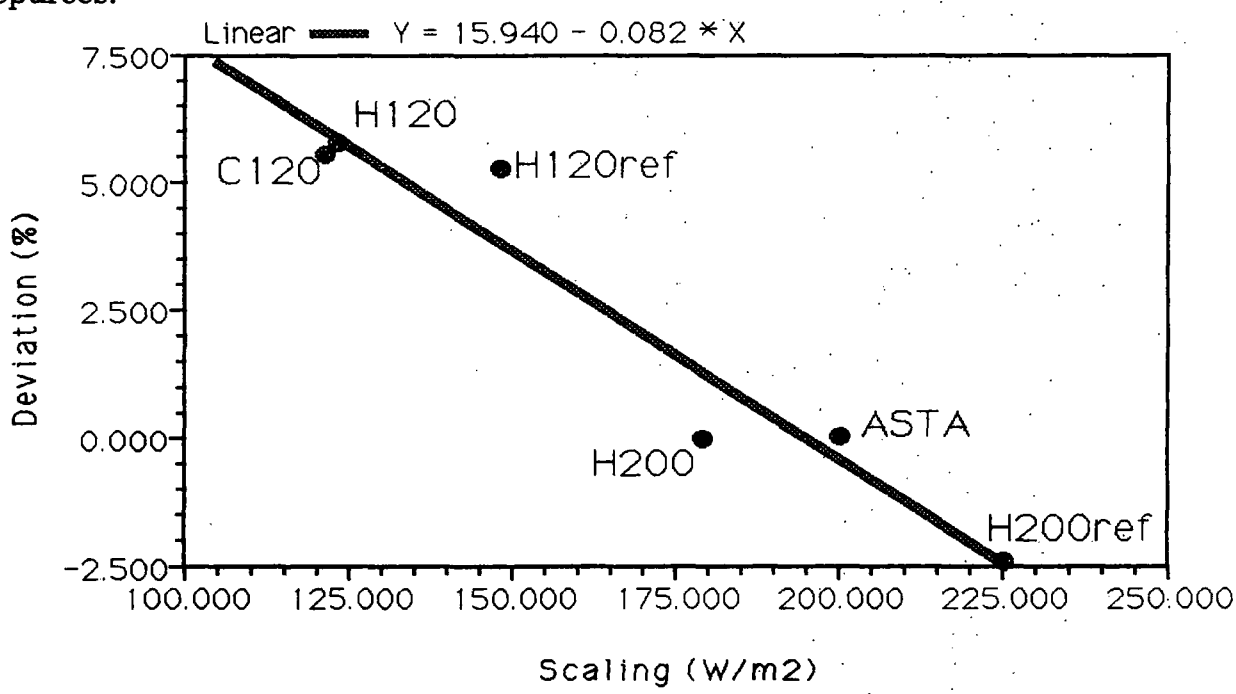

Figure 7 : Déviations relatives de la durée totale d'ensoleillement en fonction de la valeur du seuil d'intensité, prenant comme référence la durée d'ensoleillement du H200, pour la période de mesure allant du 15.7.1988 au 31.12.1988.

6. Considérations historiques et autres mesures.

L'introduction d'héliomètres du type Haenni 111B sur le réseau automatique ANETZ dès 1976 a représenté sans aucun doute une amélioration sensible de la qualité des mesures de la durée d'ensoleillement. Leurs prédécesseurs, les fameux Campbell Stokes, présentaient des particularités difficiles à maîtriser (Baumgartner [3], Urfer [4]) quant à leurs caractéristiques physiques et leur manipulation, sans parler des incertitudes importantes liées au dépouillement des cartes d'enregistrement : transparence de la sphère de verre, géométrie du support de papier photosensible, absence de chauffage, sensibilité aux conditions atmosphériques, chevauchement des pistes brûlées, etc... . Quoique les résultats des études poursuivies donnaient des valeurs du seuil de sensibilité incertaines, une valeur de 200 W/m² fut choisie par l'OMM comme première définition, puis adaptée aux plus récentes comparaisons en 1981, comme il a été indiqué dans l'introduction du présent rapport, pour garantir une homogénéité suffisante des longues séries de mesure existantes.

Lors d'études poursuivies à l'époque du choix des instruments pour le réseau ANETZ (Joss,[5]), des résultats comparables à ceux présentés ci-dessus ont été obtenus avec des méthodes équivalentes sinon dans leur forme, du moins dans leur finalité. Pour des instruments ajustés à des valeurs seuil de 137 W/m² et 194 W/m², les différences enregistrées au cours de 3 mois de mesures hivernales à Locarno-Monti et à Payerne s'élèvent à 4.4% et 20.7% respectivement, cette dernière valeur semblant quelque peu élevée.

Une récente comparaison internationale d'héliomètres a eu lieu à Hambourg sous les auspices de l'OMM, couvrant la période août 1988 - mars 1989, dont les résultats préliminaires ont été présentés à la conférence TECIMO IV qui s'est tenue à Bruxelles en septembre 1989 (Dehne, [7]). Les mesures qui ont été effectuées à cette occasion sont particulièrement intéressantes, s'étant déroulées parallèlement au projet WMO-120 et avec des méthodes de mesure comparables. Plusieurs indications importantes ressortent de l'étude des ces résultats:

- le comportement de l'instrument suisse du type Haenni 111B participant à ces comparaisons a été décevant, ceci étant dû à des problèmes qui doivent être encore éclaircis, rendant toute comparaison avec les autres appareils de mesure périlleuse;

- les deux autres capteurs Haenni du même type faisant partie du lot d'instruments étudiés (Hollande et République Fédérale d'Allemagne) ont fait preuve

d'une bonne stabilité, quoique les seuils de sensibilité mesurés se situent en-dessous de la valeur nominale de 120 W/m² à laquelle ils étaient ajustés. Cependant, les réponses en heures d'ensoleillement restent à l'intérieur d'une fourchette de 20%, remplissant ainsi les recommandations de l'OMM;

- les instruments présentant les meilleures caractéristiques de stabilité semblent être les capteurs SONI de la maison Siggelkow, quoique leurs seuils de sensibilité soient trop élevés. Ceci est particulièrement intéressant car des comparaisons extensives de ce type d'instrument ont lieu en ce moment dans le cadre du présent projet (chapitre 7). Il faut préciser que seule la valeur de la durée d'ensoleillement a été étudiée lors de ces comparaisons à Hambourg, et les mesures d'intensité de l'irradiance directe n'ont pas encore été évaluées;

- les cartes des deux Campbell Stokes présents ont été dépouillées par trois (!) personnes différentes et montrent une valeur seuil de l'ordre de 145 W/m² , ce qui est en contradiction flagrante avec les résultats obtenus par Baumgartner [3] sur les données enregistrées à l'aéroport de Zürich-Kloten où une valeur seuil nettement supérieure à 200 W/m² fut déduite des mesures.

7. Autres instruments

Comme il a été mentionné au début du présent rapport, des héliomètres de type différent (SONI) ont été inclus dans l'infrastructure de mesure utilisée pour le projet WMO-120. Une étude approfondie des qualités de ces instruments est en cours, en collaboration avec le constructeur de ces capteurs. Il faut rappeler que ces héliomètres ont la particularité de mesurer à la fois la durée d'ensoleillement et l'intensité de l'irradiance directe, cette dernière ne devant bien entendu pas atteindre la précision d'un radiomètre absolu. L'introduction d'un tel appareil sur le réseau ANETZ procurerait un potentiel d'information non négligeable dans le domaine de la mesure du rayonnement atmosphérique.

Dans l'état actuel des investigations, les résultats préliminaires montrent d'une part une excellente stabilité de ces appareils, d'autre part que des problèmes de linéarité aux hautes intensités doivent encore être résolus. En d'autres termes, ces instruments semblent être très prometteurs, mais ne sont pas encore arrivés à un stade de développement suffisant pour une intégration dans un réseau automatique.

Les services météorologiques de la République fédérale d'Allemagne (Dr. K. Dehne) effectuent en parallèle des mesures semblables (y compris au cours des comparaisons internationales citées ci-dessus) et sont arrivés aux mêmes conclusions quant au potentiel de ces héliomètres et à leurs faiblesses actuelles. Des tentatives d'amélioration y sont également poursuivies dont les résultats seront communiqués au constructeur. En cas d'issue positive de ces recherches, les réseaux automatiques de la RFA pourraient être équipés de ces appareils qui sont à l'heure actuelle les seuls permettant la mesure des deux paramètres du rayonnement atmosphérique.

8. Conclusions

Le changement du seuil d'intensité des héliomètres mesurant la durée d'ensoleillement représente un tournant d'importance primordiale lorsque tout un réseau de mesure national est concerné. Dans un souci de normalisation, il serait raisonnable que le réseau ANETZ s'aligne sur les réseaux des pays voisins. Si un tel ajustement est parfaitement réalisable sur le plan technique, quoique les résultats ci-dessus aient montré que la qualité des héliomètres devraient être améliorée, il n'en va pas de même en ce qui concerne les séries climatologiques.

Le présent rapport a pour but de répondre à une série de questions bien précises :

- les mesures effectuées sur le réseaux ANETZ correspondent-elles à un seuil d'intensité de 200 W/m^2 ?

- est-il possible d'ajuster, avec la précision de ± 20% recommandée par l'OMM, les instruments actuels à une nouvelle sensibilité de 120 W/m^2 ? Quelles seraient dans ce cas les conséquences de cet ajustage général ?

En ce qui concerne la première question, un doute réel doit être émis quant à la qualité des héliomètres Haenni 111B et la stabilité de ces appareils. Cette remarque s'applique également à la méthode et à la précision de l'étalonnage de la valeur du seuil de sensibilité. Malheureusement, il semble qu'il n'existe à l'heure actuelle sur le marché aucun capteur de ce type présentant des caractéristiques nettement supérieures. Il faudra probablement attendre encore au minimum deux à trois années pour savoir si les héliomètres SONI mentionnés ci-dessus seront à même de remplacer les capteurs actuels.

Un ré-étalonnage général des instruments équipant le réseau ANETZ à une valeur seuil de 120 W/m^2 est sans aucun doute réalisable techniquement et une amélioration de la méthode de calibration utilisée devrait permettre d'augmenter la qualité des mesures par rapport à la situation actuelle. Les résultats obtenus aussi bien à Davos qu'à Payerne montrent que le passage du seuil d'intensité de 200 W/m^2 à 120 W/m^2 entraîne une augmentation annuelle de la durée d'ensoleillement d'environ 0.9%/W/m^2, soit plus de 7% pour les stations de plaine comme de montagne. Ce gain, de plus d'un quart d'heure par jour en moyenne, se répartit tout au long de la journée de façon à peu près homogène et dépend des conditions météorologiques du site. Ceci ne facilite bien entendu pas une éventuelle correction systématique fine des données déjà accumulées.

Quoiqu'il en soit, l'adaptation du réseau ANETZ à la recommandation de l'OMM devrait être précédée d'une période de mesures simultanées avec les deux seuils à un nombre restreint de stations choisies pour leur caractère représentatif de la région concernée. Si les résultats de cette étude se trouvent alors confirmés, c'est en toute connaissance de cause que le changement pourrait être effectué. C'est dans cette optique qu'il est également recommandé de poursuivre les mesures en cours à la Station aérologique de Payerne : l'information rassemblée représente un potentiel de haute valeur, en raison de la fréquence et de la qualité des mesures, pour des études futures concernant le rayonnement atmosphérique en général. En outre, les mesures ainsi obtenues pourront servir de référence continue pour le réseau ANETZ. De plus, la présence d'un système de mesure complet opérationnel permettra de résoudre de façon optimale tout nouveau problème pouvant apparaître à l'avenir.

9. Recommandations

Tenant compte des résultats présentés dans ce rapport et de ceux obtenus précédemment à la station de Davos, des résultats des autres études menées dans le cadre de l'ISM et dans d'autres services météorologiques étrangers et des conclusions (encore préliminaires) de la comparaison internationale d'héliomètres qui s'est tenue récemment en RFA, il est recommandé :

- d'ajuster les instruments existant sur le réseau ANETZ à la valeur seuil de 120 W/m^2 le 1.1.1991 pour se conformer d'une part à la recommandation de l'OMM, d'autre part aux références internationales en vigueur chez nos voisins;

- d'améliorer la méthode d'étalonnage des héliomètres de manière à obtenir des valeurs plus précises et stables;

- de faire précéder ce changement d'une période de comparaison de l'ordre d'une année sur le réseau ANETZ en équipant une certain nombre de stations représentatives d'instruments ajustés aux deux seuils d'intensité pour confirmer la validité des résultats déjà obtenus dans le plus grand nombre possible de conditions géographiques et climatologiques;

- de poursuivre l'étude et, le cas échéant, de participer à l'amélioration de nouveaux capteurs dont les caractéristiques apporteraient un gain sensible de la qualité des mesures du réseau ANETZ.

Remerciement

Nous tenons à remercier M. P. Wasserfallen et les collaborateurs concernés de la section Météorologie de l'environnement de l'ISM pour la réalisation du projet COMRAD et la fourniture des résultats utilisés dans la présente étude.

Abréviations :

ANETZ :	réseau automatique de mesures météorologiques de l'ISM
AST :	poursuite du soleil automatique
ASTA :	station automatique d'acquisition de données du réseau ANETZ
CIMO :	*Commission for Instruments and Methods of Observation*, OMM
COMRAD :	comparaisons de radiomètres, projet ISM
CSI :	*Campbell Scientific Inc.*
C200 :	héliomètre COMRAD réglé à une valeur seuil de 200 W/m^2
C120 :	héliomètre COMRAD réglé à une valeur seuil de 120 W/m^2
D :	composante diffuse du rayonnement atmosphérique
ENV :	section Météorologie de l'environnement de l'ISM
EPFZ :	Ecole polytechnique fédérale de Zürich
G :	composante globale du rayonnement atmosphérique
H200 :	héliomètre réglé à une valeur seuil de 200 W/m^2
H120 :	héliomètre réglé à une valeur seuil de 120 W/m^2
INS :	section Instruments de l'ISM
ISM :	Institut suisse de météorologie
OMM :	Organisation météorologique mondiale
PMO6 :	radiomètre absolu développé par le WRCD
RASTA :	radiomètre PMO6 pour station automatique ANETZ
SAP :	Station aérologique de Payerne
SolCel :	Cellule solaire pour la mesure relative de l'irradiance directe
TECIMO :	*TEchnical Conference on Instruments and Methods of Observation*
WRCD :	*World Radiation Center, Davos*
WRR :	*World Radiometric Reference*

Références

[1] Heimo, A.
Durée d'insolation. I : Etude de l'influence du seuil de sensibilité - Nouveaux instruments.
Rapport de travail de l'Institut Suisse de Météorologie, No. 144, juillet 1987.

[2] Brusa, R. W.
Solar Radiometry
WRCD Publication No 598, Dissertation ETH No 7181, 1983.

[3] Baumgartner Th.
Die Schwellenintensität des Sonnenscheinautographen Campbell-Stokes an wolkenlosen Tagen
Rapport de travail de l'Institut Suisse de Météorologie, No 84, janvier 1979

[4] Urfer Ch.
Vergleich der Sonnenscheindauer des automatischen Messnetzes (ANETZ) mit den Auswertungen von Campbell-Stokes (konventionelles Klimanetz)
Rapport de travail de l'Institut Suisse de Météorologie, sous presse

[5] Joss J.
Communications privées

[6] Dehne K.
Preliminary Results of the WMO Automatic Sunshine Duration Measurements Comparison
To be presented at TECIMO IV, Bruxelles, 1989

Adresse de l'auteur :

Heimo Alain
Physicien, Dr. sc. nat.
Institut Suisse de Météorologie
Station Aérologique

CH-1530 Payerne

Annexe 1.

Valeurs journalières des mesures effectuées par les capteurs H200 et H120 et la différence (delta) enregistrée entre les deux appareils. Les sommes journalières sont exprimées en heures, minutes et secondes (p. ex. pour H200 le 2.2.1988 : 2h 29' 59"). Les totaux mensuels suivent le dernier jour du mois. Le tableau se termine par la somme annuelle et la différence relative des deux héliomètres.

WMO-120 MEASUREMENTS RESULTS
==========

1. 2.88	H200 =	146	H120 =	1158	delta =	1012	[HHHHMMSS]
2. 2.88	H200 =	22959	H120 =	25636	delta =	2637	
3. 2.88	H200 =	35208	H120 =	40651	delta =	1443	
4. 2.88	H200 =	3507	H120 =	5711	delta =	2204	
5. 2.88	H200 =	4951	H120 =	5859	delta =	908	
6. 2.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0	
7. 2.88	H200 =	1	H120 =	218	delta =	217	
8. 2.88	H200 =	3314	H120 =	4720	delta =	1406	
9. 2.88	H200 =	1441	H120 =	2118	delta =	637	
10. 2.88	H200 =	5847	H120 =	12318	delta =	2431	
11. 2.88	H200 =	0	H120 =	131	delta =	131	
12. 2.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0	
13. 2.88	H200 =	52658	H120 =	60506	delta =	3808	
14. 2.88	H200 =	74120	H120 =	90058	delta =	11938	
15. 2.88	H200 =	91118	H120 =	91737	delta =	619	
16. 2.88	H200 =	63418	H120 =	65851	delta =	2433	
17. 2.88	H200 =	92107	H120 =	92917	delta =	810	
18. 2.88	H200 =	92225	H120 =	92946	delta =	721	
19. 2.88	H200 =	1718	H120 =	2436	delta =	718	
20. 2.88	H200 =	52052	H120 =	54646	delta =	2554	
21. 2.88	H200 =	45959	H120 =	51610	delta =	1611	
22. 2.88	H200 =	91500	H120 =	93229	delta =	1729	
23. 2.88	H200 =	62958	H120 =	63905	delta =	907	
24. 2.88	H200 =	1813	H120 =	2350	delta =	537	
25. 2.88	H200 =	1422	H120 =	1435	delta =	13	
26. 2.88	H200 =	2846	H120 =	10011	delta =	3125	
27. 2.88	H200 =	11212	H120 =	14840	delta =	3628	
28. 2.88	H200 =	15558	H120 =	20750	delta =	1152	
29. 2.88	H200 =	2957	H120 =	3525	delta =	528	
TOTAL		881535		955832	delta =	74257	[HHHHMMSS]

WMO-120 MEASUREMENTS RESULTS
==========

1.	3.88	H200 =	42030	H120 =	45436	delta =	3406 [HHHHMMSS]
2.	3.88	H200 =	33748	H120 =	41119	delta =	3331
3.	3.88	H200 =	81801	H120 =	85608	delta =	3807
4.	3.88	H200 =	0	H120 =	15	delta =	15
5.	3.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0
6.	3.88	H200 =	1642	H120 =	1836	delta =	154
7.	3.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0
8.	3.88	H200 =	80506	H120 =	81356	delta =	850
9.	3.88	H200 =	103809	H120 =	104617	delta =	808
10.	3.88	H200 =	54150	H120 =	62825	delta =	4635
11.	3.88	H200 =	732	H120 =	1014	delta =	242
12.	3.88	H200 =	19	H120 =	1440	delta =	1421
13.	3.88	H200 =	10025	H120 =	13159	delta =	3134
14.	3.88	H200 =	8	H120 =	2053	delta =	2045
15.	3.88	H200 =	93514	H120 =	94817	delta =	1303
16.	3.88	H200 =	15326	H120 =	21442	delta =	2116
17.	3.88	H200 =	705	H120 =	1202	delta =	457
18.	3.88	H200 =	2620	H120 =	3838	delta =	1218
19.	3.88	H200 =	0	H120 =	34	delta =	34
20.	3.88	H200 =	34534	H120 =	42409	delta =	3835
21.	3.88	H200 =	34640	H120 =	41852	delta =	3212
22.	3.88	H200 =	23730	H120 =	24942	delta =	1212
23.	3.88	H200 =	13241	H120 =	14745	delta =	1504
24.	3.88	H200 =	2710	H120 =	4034	delta =	1324
25.	3.88	H200 =	13659	H120 =	20625	delta =	2926
26.	3.88	H200 =	14000	H120 =	15434	delta =	1434
27.	3.88	H200 =	5317	H120 =	11055	delta =	1738
28.	3.88	H200 =	23809	H120 =	30741	delta =	2932
29.	3.88	H200 =	60834	H120 =	65803	delta =	4929
30.	3.88	H200 =	0	H120 =	128	delta =	128
31.	3.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0
TOTAL			791509		882139	delta =	90630 [HHHHMMSS]

WMO-120 MEASUREMENTS RESULTS
==========

1. 4.88	H200 =	24556	H120 =	32231	delta =	3635	[HHHHMMSS]
2. 4.88	H200 =	95430	H120 =	103936	delta =	4506	
3. 4.88	H200 =	63556	H120 =	64930	delta =	1334	
4. 4.88	H200 =	31645	H120 =	34004	delta =	2319	
5. 4.88	H200 =	222	H120 =	329	delta =	107	
6. 4.88	H200 =	1533	H120 =	2430	delta =	857	
7. 4.88	H200 =	5718	H120 =	14328	delta =	4610	
8. 4.88	H200 =	418	H120 =	2017	delta =	1559	
9. 4.88	H200 =	32752	H120 =	35824	delta =	3032	
10. 4.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0	
11. 4.88	H200 =	81556	H120 =	82119	delta =	523	
12. 4.88	H200 =	755	H120 =	1008	delta =	213	
13. 4.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0	
14. 4.88	H200 =	71034	H120 =	72438	delta =	1404	
15. 4.88	H200 =	62953	H120 =	70621	delta =	3628	
16. 4.88	H200 =	74504	H120 =	80600	delta =	2056	
17. 4.88	H200 =	44353	H120 =	50724	delta =	2331	
18. 4.88	H200 =	111733	H120 =	120554	delta =	4821	
19. 4.88	H200 =	90051	H120 =	91802	delta =	1711	
20. 4.88	H200 =	1401	H120 =	2326	delta =	925	
21. 4.88	H200 =	114826	H120 =	122011	delta =	3145	
22. 4.88	H200 =	123710	H120 =	125141	delta =	1431	
23. 4.88	H200 =	101723	H120 =	103953	delta =	2230	
24. 4.88	H200 =	111943	H120 =	121031	delta =	5048	
25. 4.88	H200 =	110841	H120 =	115026	delta =	4145	
26. 4.88	H200 =	62223	H120 =	70208	delta =	3945	
27. 4.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0	
28. 4.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0	
29. 4.88	H200 =	45122	H120 =	51001	delta =	1839	
30. 4.88	H200 =	3839	H120 =	5340	delta =	1501	
TOTAL		1512957		1620332	delta =	103335	[HHHHMMSS]

WMO-120 MEASUREMENTS RESULTS
==========

1.	5.88	H200 =	90334	H120 =	91529	delta =	1155 [HHHHMMSS]
2.	5.88	H200 =	24522	H120 =	30448	delta =	1926
3.	5.88	H200 =	105319	H120 =	111913	delta =	2554
4.	5.88	H200 =	31227	H120 =	32656	delta =	1429
5.	5.88	H200 =	73728	H120 =	75209	delta =	1441
6.	5.88	H200 =	132149	H120 =	133548	delta =	1359
7.	5.88	H200 =	750	H120 =	857	delta =	107
8.	5.88	H200 =	11119	H120 =	14323	delta =	3204
9.	5.88	H200 =	3127	H120 =	3709	delta =	542
10.	5.88	H200 =	25539	H120 =	31816	delta =	2237
11.	5.88	H200 =	51546	H120 =	53649	delta =	2103
12.	5.88	H200 =	81200	H120 =	92537	delta =	11337
13.	5.88	H200 =	81124	H120 =	85935	delta =	4811
14.	5.88	H200 =	54558	H120 =	61348	delta =	2750
15.	5.88	H200 =	75940	H120 =	81441	delta =	1501
16.	5.88	H200 =	63929	H120 =	64631	delta =	702
17.	5.88	H200 =	3056	H120 =	3743	delta =	647
18.	5.88	H200 =	2112	H120 =	2525	delta =	413
19.	5.88	H200 =	14954	H120 =	22009	delta =	3015
20.	5.88	H200 =	2956	H120 =	3225	delta =	229
21.	5.88	H200 =	91300	H120 =	100444	delta =	5144
22.	5.88	H200 =	133327	H120 =	140434	delta =	3107
23.	5.88	H200 =	100749	H120 =	102514	delta =	1725
24.	5.88	H200 =	93931	H120 =	95637	delta =	1706
25.	5.88	H200 =	95933	H120 =	103138	delta =	3205
26.	5.88	H200 =	92650	H120 =	93107	delta =	417
27.	5.88	H200 =	2933	H120 =	3104	delta =	131
28.	5.88	H200 =	5704	H120 =	11136	delta =	1432
29.	5.88	H200 =	2030	H120 =	4355	delta =	2325
30.	5.88	H200 =	61253	H120 =	63339	delta =	2046
31.	5.88	H200 =	31102	H120 =	32956	delta =	1854
TOTAL			1700741		1803855	delta =	103114 [HHHHMMSS]

WMO-120 MEASUREMENTS RESULTS
==========

1.	6.88	H200 =	22010	H120 =	23133	delta =	1123 [HHHHMMSS]
2.	6.88	H200 =	110541	H120 =	113426	delta =	2845
3.	6.88	H200 =	81700	H120 =	85600	delta =	3900
4.	6.88	H200 =	0	H120 =	204	delta =	204
5.	6.88	H200 =	21103	H120 =	22327	delta =	1224
6.	6.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0
7.	6.88	H200 =	2309	H120 =	3043	delta =	734
8.	6.88	H200 =	70832	H120 =	74142	delta =	3310
9.	6.88	H200 =	110656	H120 =	112340	delta =	1644
10.	6.88	H200 =	43944	H120 =	60146	delta =	12202
11.	6.88	H200 =	45358	H120 =	51047	delta =	1649
12.	6.88	H200 =	100100	H120 =	61905	delta =	-34155
13.	6.88	H200 =	104227	H120 =	101201	delta =	-3026
14.	6.88	H200 =	50719	H120 =	53639	delta =	2920
15.	6.88	H200 =	90313	H120 =	94511	delta =	4158
16.	6.88	H200 =	92025	H120 =	100539	delta =	4514
17.	6.88	H200 =	94208	H120 =	104320	delta =	10112
18.	6.88	H200 =	132810	H120 =	140109	delta =	3259
19.	6.88	H200 =	120707	H120 =	122828	delta =	2121
20.	6.88	H200 =	101612	H120 =	110744	delta =	5132
21.	6.88	H200 =	120954	H120 =	124429	delta =	3435
22.	6.88	H200 =	125126	H120 =	105532	delta =	-15554
23.	6.88	H200 =	102408	H120 =	102408	delta =	0
24.	6.88	H200 =	134013	H120 =	134013	delta =	0
25.	6.88	H200 =	130704	H120 =	130704	delta =	0
26.	6.88	H200 =	52622	H120 =	52622	delta =	0
27.	6.88	H200 =	74757	H120 =	74757	delta =	0
28.	6.88	H200 =	13807	H120 =	13807	delta =	0
29.	6.88	H200 =	63316	H120 =	63316	delta =	0
30.	6.88	H200 =	3143	H120 =	3143	delta =	0
TOTAL			2260424		2292415	delta =	31951 [HHHHMMSS]

WMO-120 MEASUREMENTS RESULTS
==========

1.	7.88	H200 =	33608	H120 =	33657	delta =	49 [HHHHMMSS]
2.	7.88	H200 =	55703	H120 =	55238	delta =	-425
3.	7.88	H200 =	71154	H120 =	71136	delta =	-18
4.	7.88	H200 =	41107	H120 =	40217	delta =	-850
5.	7.88	H200 =	22605	H120 =	22817	delta =	212
6.	7.88	H200 =	124433	H120 =	124629	delta =	156
7.	7.88	H200 =	75905	H120 =	81659	delta =	1754
8.	7.88	H200 =	82753	H120 =	84125	delta =	1332
9.	7.88	H200 =	95317	H120 =	102240	delta =	2923
10.	7.88	H200 =	141758	H120 =	143857	delta =	2059
11.	7.88	H200 =	124024	H120 =	124920	delta =	856
12.	7.88	H200 =	34132	H120 =	40447	delta =	2315
13.	7.88	H200 =	75407	H120 =	81459	delta =	2052
14.	7.88	H200 =	63414	H120 =	70129	delta =	2715
15.	7.88	H200 =	24435	H120 =	25042	delta =	607
16.	7.88	H200 =	54300	H120 =	60418	delta =	2118
17.	7.88	H200 =	53216	H120 =	53649	delta =	433
18.	7.88	H200 =	111006	H120 =	112305	delta =	1259
19.	7.88	H200 =	134119	H120 =	135221	delta =	1102
20.	7.88	H200 =	134945	H120 =	141115	delta =	2130
21.	7.88	H200 =	122438	H120 =	125241	delta =	2803
22.	7.88	H200 =	120956	H120 =	124817	delta =	3821
23.	7.88	H200 =	125957	H120 =	133943	delta =	3946
24.	7.88	H200 =	4943	H120 =	10341	delta =	1358
25.	7.88	H200 =	141707	H120 =	142511	delta =	804
26.	7.88	H200 =	133631	H120 =	133853	delta =	222
27.	7.88	H200 =	13742	H120 =	14139	delta =	357
28.	7.88	H200 =	84842	H120 =	85746	delta =	904
29.	7.88	H200 =	42915	H120 =	43943	delta =	1028
30.	7.88	H200 =	110947	H120 =	113452	delta =	2505
31.	7.88	H200 =	135834	H120 =	141312	delta =	1438
TOTAL			2663813		2734258	delta =	70445 [HHHHMMSS]

WMO-120 MEASUREMENTS RESULTS
==========

1. 8.88	H200 =	100647	H120 =	102422	delta =	1735	[HHHHMMSS]
2. 8.88	H200 =	43727	H120 =	43915	delta =	148	
3. 8.88	H200 =	3158	H120 =	3656	delta =	458	
4. 8.88	H200 =	3423	H120 =	5829	delta =	2406	
5. 8.88	H200 =	103302	H120 =	104210	delta =	908	
6. 8.88	H200 =	131939	H120 =	134121	delta =	2142	
7. 8.88	H200 =	112014	H120 =	115218	delta =	3204	
8. 8.88	H200 =	112331	H120 =	122322	delta =	5951	
9. 8.88	H200 =	114031	H120 =	122732	delta =	4701	
10. 8.88	H200 =	122455	H120 =	130005	delta =	3510	
11. 8.88	H200 =	62153	H120 =	62731	delta =	538	
12. 8.88	H200 =	25518	H120 =	31249	delta =	1731	
13. 8.88	H200 =	94215	H120 =	100436	delta =	2221	
14. 8.88	H200 =	115210	H120 =	121347	delta =	2137	
15. 8.88	H200 =	122944	H120 =	124227	delta =	1243	
16. 8.88	H200 =	43520	H120 =	45705	delta =	2145	
17. 8.88	H200 =	115505	H120 =	120701	delta =	1156	
18. 8.88	H200 =	113107	H120 =	114220	delta =	1113	
19. 8.88	H200 =	83800	H120 =	90607	delta =	2807	
20. 8.88	H200 =	10916	H120 =	11245	delta =	329	
21. 8.88	H200 =	81600	H120 =	83000	delta =	1400	
22. 8.88	H200 =	51726	H120 =	53249	delta =	1523	
23. 8.88	H200 =	105812	H120 =	111926	delta =	2114	
24. 8.88	H200 =	44147	H120 =	51347	delta =	3200	
25. 8.88	H200 =	32450	H120 =	33720	delta =	1230	
26. 8.88	H200 =	13308	H120 =	12758	delta =	-510	
27. 8.88	H200 =	114019	H120 =	114228	delta =	209	
28. 8.88	H200 =	74906	H120 =	80837	delta =	1931	
29. 8.88	H200 =	15829	H120 =	20513	delta =	644	
30. 8.88	H200 =	111933	H120 =	113441	delta =	1508	
31. 8.88	H200 =	70734	H120 =	74225	delta =	3451	
TOTAL		2414859		2512702	delta =	93803	[HHHHMMSS]

WMO-120 MEASUREMENTS RESULTS
==========

1. 9.88	H200 =	61702	H120 =	63353	delta =	1651	[HHHHMMSS]
2. 9.88	H200 =	30918	H120 =	32626	delta =	1708	
3. 9.88	H200 =	3736	H120 =	4920	delta =	1144	
4. 9.88	H200 =	42457	H120 =	44809	delta =	2312	
5. 9.88	H200 =	71046	H120 =	74814	delta =	3728	
6. 9.88	H200 =	114831	H120 =	120914	delta =	2043	
7. 9.88	H200 =	120141	H120 =	121127	delta =	946	
8. 9.88	H200 =	92116	H120 =	94240	delta =	2124	
9. 9.88	H200 =	654	H120 =	1657	delta =	1003	
10. 9.88	H200 =	63009	H120 =	63818	delta =	809	
11. 9.88	H200 =	82809	H120 =	90035	delta =	3226	
12. 9.88	H200 =	31551	H120 =	34321	delta =	2730	
13. 9.88	H200 =	10758	H120 =	12730	delta =	1932	
14. 9.88	H200 =	31506	H120 =	33420	delta =	1914	
15. 9.88	H200 =	12817	H120 =	14437	delta =	1620	
16. 9.88	H200 =	35849	H120 =	41509	delta =	1620	
17. 9.88	H200 =	84852	H120 =	90454	delta =	1602	
18. 9.88	H200 =	104914	H120 =	111328	delta =	2414	
19. 9.88	H200 =	72912	H120 =	82923	delta =	10011	
20. 9.88	H200 =	35146	H120 =	40617	delta =	1431	
21. 9.88	H200 =	54218	H120 =	60043	delta =	1825	
22. 9.88	H200 =	71118	H120 =	71901	delta =	743	
23. 9.88	H200 =	41814	H120 =	43249	delta =	1435	
24. 9.88	H200 =	92911	H120 =	94054	delta =	1143	
25. 9.88	H200 =	20250	H120 =	23300	delta =	3010	
26. 9.88	H200 =	112022	H120 =	112223	delta =	201	
27. 9.88	H200 =	111036	H120 =	111641	delta =	605	
28. 9.88	H200 =	51703	H120 =	54454	delta =	2751	
29. 9.88	H200 =	341	H120 =	630	delta =	249	
30. 9.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0	
TOTAL		1703657		1794107	delta =	90410	[HHHHMMSS]

WMO-120 MEASUREMENTS RESULTS

1.10.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0 [HHHHMMSS]
2.10.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0
3.10.88	H200 =	354	H120 =	712	delta =	318
4.10.88	H200 =	24823	H120 =	31805	delta =	2942
5.10.88	H200 =	1029	H120 =	1250	delta =	221
6.10.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0
7.10.88	H200 =	32018	H120 =	33443	delta =	1425
8.10.88	H200 =	40936	H120 =	44555	delta =	3619
9.10.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0
10.10.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0
11.10.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0
12.10.88	H200 =	400	H120 =	429	delta =	29
13.10.88	H200 =	5634	H120 =	11601	delta =	1927
14.10.88	H200 =	64901	H120 =	72339	delta =	3438
15.10.88	H200 =	1514	H120 =	2534	delta =	1020
16.10.88	H200 =	12504	H120 =	20228	delta =	3724
17.10.88	H200 =	1452	H120 =	3749	delta =	2257
18.10.88	H200 =	1936	H120 =	3946	delta =	2010
19.10.88	H200 =	0	H120 =	12	delta =	12
20.10.88	H200 =	5415	H120 =	10039	delta =	624
21.10.88	H200 =	33942	H120 =	34817	delta =	835
22.10.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0
23.10.88	H200 =	40604	H120 =	41858	delta =	1254
24.10.88	H200 =	3124	H120 =	5404	delta =	2240
25.10.88	H200 =	140	H120 =	559	delta =	419
26.10.88	H200 =	61022	H120 =	63757	delta =	2735
27.10.88	H200 =	83634	H120 =	90104	delta =	2430
28.10.88	H200 =	73826	H120 =	75754	delta =	1928
29.10.88	H200 =	24513	H120 =	32906	delta =	4353
30.10.88	H200 =	10005	H120 =	11534	delta =	1529
31.10.88	H200 =	51827	H120 =	55720	delta =	3853
TOTAL		611913		685535	delta =	73622 [HHHHMMSS]

WMO-120 MEASUREMENTS RESULTS
==========

1.11.88	H200 =	41148	H120 =	42757	delta =	1609	[HHHHMMSS]
2.11.88	H200 =	14219	H120 =	20612	delta =	2353	
3.11.88	H200 =	64146	H120 =	65557	delta =	1411	
4.11.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0	
5.11.88	H200 =	51932	H120 =	55819	delta =	3847	
6.11.88	H200 =	2937	H120 =	3531	delta =	554	
7.11.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0	
8.11.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0	
9.11.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0	
10.11.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0	
11.11.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0	
12.11.88	H200 =	4935	H120 =	10803	delta =	1828	
13.11.88	H200 =	1240	H120 =	1537	delta =	257	
14.11.88	H200 =	65500	H120 =	81053	delta =	11553	
15.11.88	H200 =	81301	H120 =	82359	delta =	1058	
16.11.88	H200 =	20049	H120 =	22621	delta =	2532	
17.11.88	H200 =	51657	H120 =	54039	delta =	2342	
18.11.88	H200 =	11024	H120 =	12109	delta =	1045	
19.11.88	H200 =	21249	H120 =	23656	delta =	2407	
20.11.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0	
21.11.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0	
22.11.88	H200 =	70710	H120 =	72904	delta =	2154	
23.11.88	H200 =	10424	H120 =	13140	delta =	2716	
24.11.88	H200 =	75826	H120 =	80435	delta =	609	
25.11.88	H200 =	74547	H120 =	75445	delta =	858	
26.11.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0	
27.11.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0	
28.11.88	H200 =	24204	H120 =	25421	delta =	1217	
29.11.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0	
30.11.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0	
TOTAL		715408		780158	delta =	60750	[HHHHMMSS]

WMO-120 MEASUREMENTS RESULTS
==========

1.12.88	H200 =	713	H120 =	1223	delta =	510 [HHHHMMSS]
2.12.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0
3.12.88	H200 =	12132	H120 =	15438	delta =	3306
4.12.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0
5.12.88	H200 =	1553	H120 =	2248	delta =	655
6.12.88	H200 =	11501	H120 =	13622	delta =	2121
7.12.88	H200 =	30129	H120 =	31014	delta =	845
8.12.88	H200 =	52939	H120 =	53603	delta =	624
9.12.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0
10.12.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0
11.12.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0
12.12.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0
13.12.88	H200 =	24748	H120 =	32009	delta =	3221
14.12.88	H200 =	54504	H120 =	64446	delta =	5942
15.12.88	H200 =	41552	H120 =	50844	delta =	5252
16.12.88	H200 =	72628	H120 =	74118	delta =	1450
17.12.88	H200 =	63512	H120 =	70713	delta =	3201
18.12.88	H200 =	51524	H120 =	55121	delta =	3557
19.12.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0
20.12.88	H200 =	3820	H120 =	4259	delta =	439
21.12.88	H200 =	2939	H120 =	4355	delta =	1416
22.12.88	H200 =	63326	H120 =	70635	delta =	3309
23.12.88	H200 =	1236	H120 =	3758	delta =	2522
24.12.88	H200 =	50510	H120 =	53250	delta =	2740
25.12.88	H200 =	71233	H120 =	72849	delta =	1616
26.12.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0
27.12.88	H200 =	1409	H120 =	3109	delta =	1700
28.12.88	H200 =	0	H120 =	48	delta =	48
29.12.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0
30.12.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0
31.12.88	H200 =	0	H120 =	0	delta =	0

TOTAL	640228	713102	delta =	72834 [HHHHMMSS]
TOTAL(Year)	15913244	16794635	delta =	881351 [HHHHMMSS]

TOT(DIFF) = 5.54 [%]

Annexe 2.

Distribution relative des déviations entre H120 et H200 en fonction de la durée d'ensoleillement de référence et de la différence enregistrée entre les deux capteurs.

Colonne DELTA : déviations en secondes.
Colonnes 0..10,11..21,22..30 : durée d'insolation de référence.

Bas du tableau :

TOTAL	: nombre de cas par classe de durée d'ensoleillement.
TOTAL [sec]	: durée d'ensoleillement de référence totale en secondes
TOTAL [H]	: durée d'ensoleillement de référence totale en heures
DIFF. [sec]	: somme des déviations en secondes
DIFF [H]	: somme des déviations en heures et en % de la durée totale d'ensoleillement.

DATE : 2.1988 -12.1988

REF. INSTRUMENT : H200
MES. INSTRUMENT : H120
SUN = 0..30 [sec]

	0 11 22	1 12 23	2 13 24	3 14 25	4 15 26	5 16 27	6 17 28	7 18 29	8 19 30	9 20	10 21
DELTA											
-30.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	.4		
-29.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	.6	.0		
-28.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	.6	0.0	.0		
-27.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	.7	.3	0.0	0.0		
-26.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	.9	0.0	0.0	0.0	.0		
-25.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	.7	0.0	0.0	0.0	.2	.0		
-24.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	.0		
-23.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	.8	0.0	0.0	.2	0.0	0.0	.2	.0		
-22.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	.0		
-21.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	.7
	0.0	0.0	.2	0.0	.2	0.0	0.0	0.0	0.0		
-20.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	.2	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	.0		

-19.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	.2	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	.2	0.0	0.0	0.0	.0		
-18.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	.9	0.0	0.0	0.0
	0.0	.2	0.0	0.0	.2	0.0	0.0	0.0	.0		
-17.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	.5	0.0	0.0	0.0	0.0
	.4	0.0	0.0	.2	0.0	0.0	0.0	0.0	.0		
-16.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	.2	0.0	0.0	0.0	.2	0.0
	.2	0.0	0.0	.2	0.0	.2	0.0	.3	0.0		
-15.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	.9	0.0	0.0	0.0	0.0	.2	.3
	.2	0.0	.3	0.0	.2	0.0	0.0	0.0	.0		
-14.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	1.9	0.0	.2	0.0	.2	0.0	0.0	0.0
	0.0	.2	0.0	.2	0.0	0.0	.1	.2	.0		
-13.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	1.5	0.0	.2	.2	.2	0.0	0.0	0.0	.2
	0.0	.2	0.0	.2	.2	0.0	0.0	0.0	.0		
-12.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	1.6	0.0	.4	0.0	.2	0.0	.2	0.0	0.0	.5
	0.0	.3	0.0	0.0	0.0	0.0	.1	.2	.0		
-11.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	.2	0.0	.2	0.0	.3	.3
	.2	0.0	0.0	.5	0.0	.2	.1	0.0	.0		
-10.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8
	0.0	.2	0.0	0.0	0.0	.2	0.0	.2	0.0	0.0	0.0
	.2	.5	.3	.2	0.0	0.0	0.0	0.0	.0		
-9.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	.9	0.0
	.4	.2	.2	0.0	0.0	0.0	.4	.4	0.0	.2	.2
	.5	.2	0.0	0.0	.5	0.0	0.0	.3	.0		
-8.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	.2
	0.0	.2	.7	.2	0.0	.4	.5	0.0	.2	0.0	.5
	0.0	0.0	.9	0.0	.5	.3	0.0	0.0	.0		
-7.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	.2	.4
	0.0	.2	0.0	0.0	0.0	0.0	.4	0.0	.6	.3	.3
	.4	.3	.2	.5	.2	.2	.3	0.0	.0		
-6.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	.6	.2	.2	.5
	.5	.3	0.0	.6	.5	.5	.2	.4	.4	.5	.5
	0.0	.3	.3	.4	.2	.2	.1	.3	.0		
-5.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	.5	.3	.4	.4	1.4
	1.1	.2	.2	.4	.5	0.0	.7	.9	.6	.2	.3
	.5	.2	.3	.4	1.2	.7	.7	0.0	.0		

-4.	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	.7	.5	1.2	.2	.9	1.2
	.7	.2	.7	.6	.7	1.6	.4	.9	.4	.3	.5
	0.0	1.2	.3	.4	.3	.3	.1	.9	.0		
-3.	0.0	0.0	0.0	3.3	.5	.9	.7	.6	.4	.9	.5
	.4	1.2	.7	.7	0.0	.9	.2	.9	1.6	.8	.5
	.2	.5	.7	.9	.7	.5	1.0	.8	.0		
-2.	0.0	0.0	6.0	.5	.7	2.1	1.8	.9	1.4	.9	.9
	1.1	.9	1.6	1.3	1.1	1.8	1.1	1.3	1.4	1.1	.8
	.9	1.5	1.9	1.4	1.2	1.5	1.3	1.8	.0		
-1.	0.0	10.1	1.9	3.0	2.6	2.2	3.0	2.8	2.0	2.4	2.5
	.7	2.8	1.1	2.6	1.8	1.1	1.4	1.3	2.0	1.8	1.7
1	3.2	2.9	2.1	1.6	2.7	2.2	3.3	2.6	.0		
0.	96.1	15.3	12.8	9.3	11.2	9.7	12.0	9.5	10.6	8.0	11.7
	11.2	10.6	11.8	10.3	10.1	11.6	10.3	12.4	12.8	10.2	9.6
	9.3	10.7	10.5	12.7	11.2	9.5	12.3	11.6	99.5		
							2				
1.	.1	10.5	11.7	13.7	11.2	12.5	10.2	12.5	10.7	9.9	6.4
	7.1	7.8	9.1	8.4	10.5	8.7	8.8	10.7	8.2	9.5	9.8
	10.2	11.5	10.9	10.6	8.9	11.3	10.0	80.2	0.0		
2.	.1	8.9	8.3	10.1	8.1	6.9	7.5	7.5	7.3	7.1	10.2
	7.6	6.1	7.1	7.6	7.7	6.3	6.3	7.5	6.4	8.9	8.3
	6.8	7.1	8.1	6.5	8.5	6.0	69.4	0.0	0.0		
3.	.1	3.9	7.8	6.3	7.1	5.4	6.2	5.3	5.9	7.9	4.8
	5.5	8.3	5.4	4.5	4.9	6.0	6.9	5.6	5.2	6.4	5.0
	6.4	4.9	6.6	7.2	4.3	66.3	0.0	0.0	0.0		
4.	.1	4.8	5.2	5.7	4.8	5.1	4.2	4.1	4.8	4.2	3.7
	5.1	4.5	7.3	4.9	6.7	5.6	6.0	4.9	5.4	4.1	4.6
	5.2	6.8	4.7	3.2	57.8	0.0	0.0	0.0	0.0		
5.	.1	3.9	4.2	2.8	5.0	5.2	4.0	4.2	5.2	3.8	4.9
	3.7	2.9	3.3	6.0	4.9	4.2	4.7	4.2	3.4	5.2	4.0
	3.2	5.2	3.8	52.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
6.	.1	3.5	4.4	4.4	3.6	2.4	2.0	3.7	2.7	2.6	4.8
	4.3	3.6	3.4	3.4	3.4	2.9	6.0	3.3	3.0	3.6	3.5
	4.6	3.7	46.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
7.	.1	5.6	2.3	4.1	2.8	3.0	4.0	2.0	2.5	3.3	3.0
	3.5	3.1	4.7	2.6	2.5	4.3	3.1	3.5	4.0	2.8	3.8
	2.3	40.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
8.	.1	2.1	2.6	3.3	1.7	3.6	2.0	4.7	3.8	3.7	2.3
	2.5	1.9	2.0	3.2	2.5	3.6	3.6	3.6	3.0	2.6	2.7
	44.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
9.	.1	1.4	2.1	1.7	3.3	3.0	2.5	2.5	3.0	2.9	2.5
	2.5	1.9	3.8	2.6	3.1	2.2	2.9	1.3	3.8	3.9	41.5
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
10.	.1	3.3	1.3	1.6	3.5	1.1	2.2	1.7	2.3	2.6	2.1
	2.5	4.0	2.4	3.5	2.5	2.5	2.3	2.2	2.0	36.6	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

11.	.1	.4	2.4	2.1	.5	1.9	2.3	2.0	2.7	2.4	2.7
	1.8	2.4	1.1	2.6	2.9	2.0	2.0	1.5	34.4	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
12.	.1	1.7	1.6	1.3	1.0	2.4	3.0	2.7	1.3	1.5	.9
	3.4	2.4	2.0	1.3	2.2	2.0	1.1	31.8	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
13.	.0	1.0	1.1	.6	1.0	2.1	.8	2.3	2.0	2.7	1.4
	1.6	1.6	1.6	2.1	1.8	.7	30.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
14.	.1	1.0	1.6	1.7	.9	1.7	1.3	2.0	2.0	1.6	2.5
	.9	1.7	2.2	.6	1.1	29.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
15.	.0	1.7	1.9	2.1	2.2	1.5	.7	.8	.9	1.1	1.1
	2.1	2.2	1.8	1.1	27.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
16.	.0	.4	.2	1.7	1.7	2.1	1.2	.8	1.1	2.0	1.6
	1.4	1.6	1.3	26.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
17.	.0	.8	1.5	2.1	1.6	1.5	.8	1.4	1.4	1.5	1.1
	1.4	1.2	23.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
18.	.0	0.0	1.0	.6	1.0	.9	1.3	.8	1.4	.9	1.1
	.9	24.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
19.	.0	.2	.5	1.1	1.0	1.3	.3	.6	1.1	.7	.9
	24.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
20.	.0	1.0	.3	.5	1.0	.6	1.3	1.1	.9	1.3	21.2
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
21.	.0	1.2	.2	.9	1.4	.9	.5	.8	.4	21.6	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
22.	.0	0.0	.3	.2	1.0	.4	.8	.8	19.1	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
23.	.0	.8	.8	.3	.5	.2	.7	18.3	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
24.	.0	.8	.6	.2	.5	.7	18.5	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
25.	.0	.2	.3	.6	.5	14.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

26.	.0	.6	1.0	1.4	15.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
27.	.0	.6	.6	12.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
28.	.0	.6	13.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
29.	.0	13.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
30.	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
TOTAL											
	295246	484	617	634	578	534	599	641	559	547	566
	564	578	551	536	555	552	554	550	500	610	603
	560	591	580	566	587	600	689	656	182514		

TOTAL [sec] = 5729564
TOTAL [H] = 1591.55

DIFF. [sec] = 317631
DIFF. [H] = 88.23 5.54 [%]