



195 001

PROJET CEP3/CSIP3

Mandat LENI/OFEN

Contribution de
COGENER à la phase
d'étude en vue d'une
réalisation pilote 10 kWe

Rapport final

Septembre 1997

1

COGENER

Parc Scientifique sur le Site de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne

PROJET CSIP3/OFEN

Projet détaillé d'une mini-centrale pilote électrothermosolaire
de 10 kWe

(Contribution de COGENER à la
Phase d'étude en vue d'une réalisation
pilote)

CEP3

**Concentrateur Solaire Extra-Plat,
version 3**

Rapport final

Y. ALLANI, Dr.Ing. EPFL

H. BAUMARD, Dipl. Ing. EPFL

D. CRETEGNY, Dipl. Ing. EPFL

9 septembre 1997

Énergies Renouvelables — Utilisation Rationnelle de l'Énergie — Technologie de l'Environnement

COGENER, PSE/EPFL, 1015 Lausanne, Suisse: Tél: 021-6937081, Fax: 021-693 7060

Résumé

Le présent projet reflète la contribution de COGENER dans le projet CSIP pour le développement du capteur à concentration extra-plat à lamelles, CEP3, et complète l'étude CSIP2, qui avait démontré la faisabilité des principaux composants hermétiques propres à garantir la fiabilité d'une centrale de faible puissance, par des études complémentaires sur:

- a) les performances du CEP2 qui ont été testées sur un stand conçu pour des essais à l'huile thermique ou en évaporation directe d'un fluide de travail. Seuls les essais à l'huile ont été réalisés au LENI en raison de la tenue insatisfaisante des tubes collecteurs (relâchement des soudures et vide non stabilisé) qui ont nécessité la recherche de nouveaux composants. Néanmoins les mesures réalisées ont permis de choisir définitivement l'option de capteurs sans CPC et à orientation nord-sud avec suivi. Des essais de nuits ont prouvés la dégradation du vide au sein du foyer-absorbeur.
- b) une nouvelle conception de capteur modulaire permettant également un changement rapide des surfaces réfléchissantes et une meilleure adaptation à la production. Une recherche sur les matériaux les plus adéquats ainsi que sur l'optimisation de l'énergie grise a été effectuée.
- c) une étude statistique détaillée du gisement solaire à Lausanne en se basant sur la base de données Météonorm et le développement d'un programme de dépouillement donnant les courbes de classement monotone et de distribution de la densité du rayonnement pour différents types de montures (nord-sud, est-ouest...) et en considérant l'effet du suivi du soleil,
- d) une étude d'évaluation des performances d'exploitation de la centrale basée sur l'optimisation du CEP technico-économique et d'optique géométrique, d'une part, et sur l'étude statistique originale du gisement solaire et de l'influence des paramètres de design, d'autre part.
- e) un montage de partenariat industriel avec des entreprises suisses.

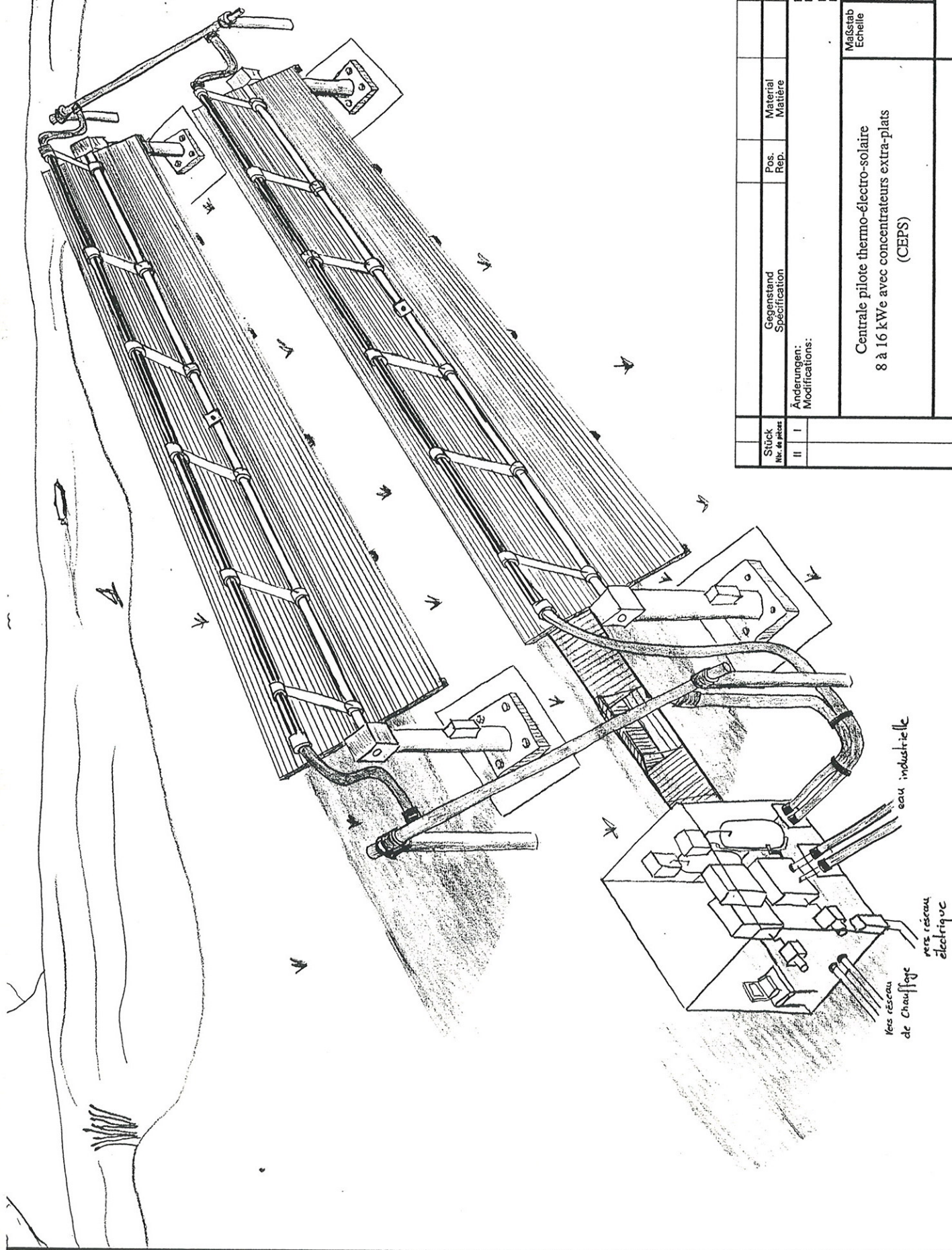
Brève description d'un projet de champ de CEP pilote

Pour la réalisation d'un projet pilote, nous proposons d'équiper la centrale de capteurs CEP d'une conception nouvelle (COGENER) par rapport aux phases précédentes du projet et avec un suivi.

Ce capteur comprend un support tubulaire, un plan réfléchissant orientable (suivi), un tube à ailette sous vide avec son support. Le plan réfléchissant est constitué de lamelles réfléchissantes enclippées de façon à permettre un remplacement aisé et une flexibilité de tests ultérieurs de nouveaux matériaux en cas de nouvelles opportunités. Cette surface ouverte entre lamelles offre moins de prise au vent que les capteurs cylindro-paraboliques traditionnels ce qui est avantageux tant du point de vue de conception mécanique que de précision d'orientation.

Les tubes pourront eux-même être aisément remplacés¹. Ces tubes non satisfaisants au cours des essais du présent projet ont fait l'objet d'une nouvelle conception mettant en jeu, sous la responsabilité de COGENER, deux autres industries suisses de pointe et, bien que non encore testés, devraient permettre de répondre aux exigences requises.

¹ au cas notamment, où des essais sur de nouveaux tubes test entrepris en parallèle sur le stand de capteurs du LENI mis au point au cours du présent projet révélaient des progrès substantiels.



	Stück Nbr. de pièces	Gegenstand Specification	Pos. Rep.	Material Matière	Ersatz durch Remplacé par			Modell Modèle	Bemerkungen Observations		
	I	Änderungen: Modifications:			Ersatz für Remplace						
	II										
	Centrale pilote thermo-électro-solaire 8 à 16 kW _e avec concentrateurs extra-plats (CEPS)				Maßstab Echelle	Gezeichnet Dessiné					
						Geprüft Contrôlé					
							Gesehen Vu				
					© COGENER						

Bref résumé des caractéristiques du CEP3

Concentration de "35 soleils" aux conditions nominales de design

Distance entre axe de tube et surface réfléchissante: 1.781 m

Largeur (hors-tout /active apparente) de la surface réfléchissante:
3.219m/2.62m

Nombre et largeur moyenne de lamelles réfléchissantes: 56 lam.
et 49 mm (valeur moyenne car largeur effective est variable d'une
lamelle à l'autre).

Lamelles soit en sandwich de verre soit en polymère technique
recouvert d'une couche de nitrure de titane (COGENER et
POLYKEM)

Diamètre (épaisseur) de tube de verre de qualité optique
supérieure: 100mm (3.5mm)

Longueur de module de tube de verre: 4.8 m, Pression dans le
tube de verre: 10^{-3} Torr (TRABOLD AG)

Largeur (longueur utile) de l'absorbeur en acier inox² avec
revêtement sélectif³: 85mm (4.72m), (Energie Solaire SA)

Poids estimé: 840 kg par module.

Huile thermique : Syltherm 800 (Dupont de Nemours)

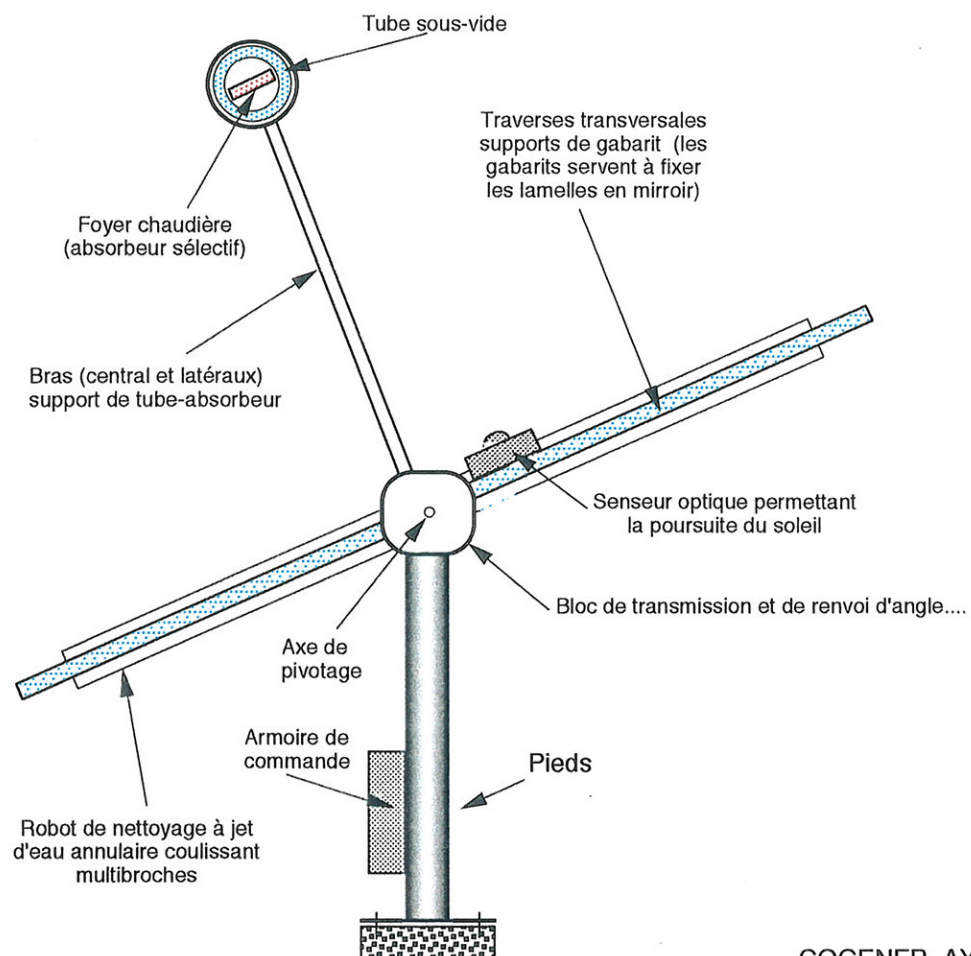
Système de suivi: (Atlantis AG)

² concept Energie solaire SA avec canal formé de tôles embouties garantissant une irrigation sur toute la largeur de l'ailette

³ revêtement sélectif Noir de chrome-nickel résistant jusqu'à 250°C (testé)

MONTURE DU CONCENTRATEUR SOLAIRE CEP3

6



COGENER, AY, 15/6/97

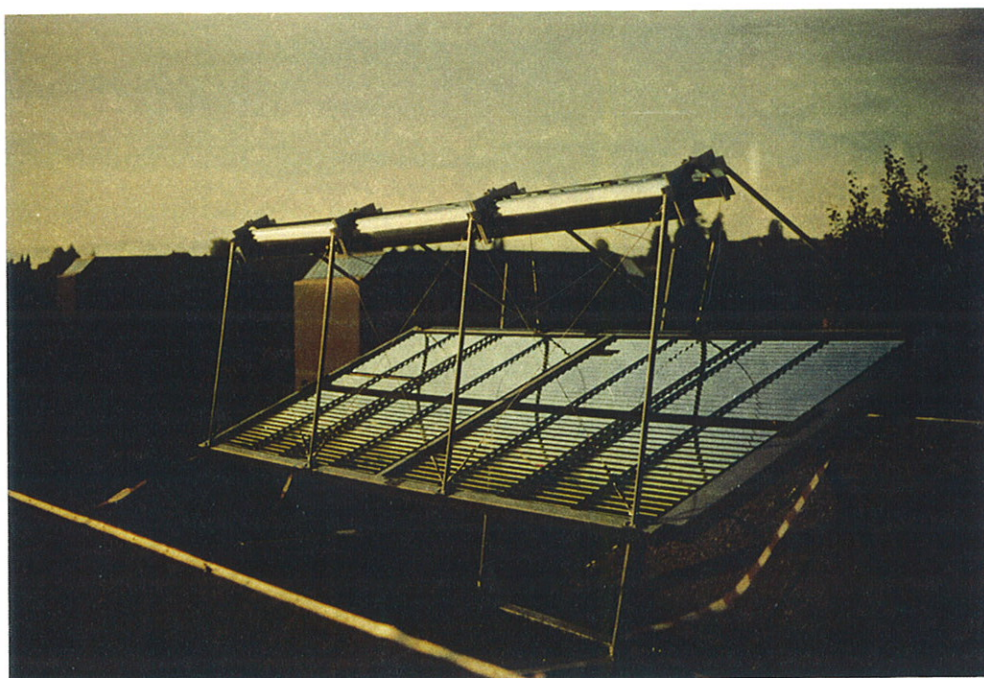


Photo du 2ème prototype de CEP (ayant fait l'objet de rationalisation)

7

Supports informatiques pour la prévisions des performances d'exploitation annuelle

Des simulations effectuées par COGENER ont permis de définir les principaux paramètres de dimensionnement. Ceux-ci sont basés sur le classement et l'interprétation de données météo, de même que la paramétrisation du concentrateur. Ce programme développé par COGENER comprend les volets suivants:

1. La paramétrisation du concentrateur permet de dégager le taux de concentration requis en fonction de l'angle d'incidence des rayons solaires, ainsi que le décalage longitudinal de la tache focale sur le concentrateur. Cela permet de calculer l'énergie thermique réelle que le capteur peut produire à partir du gisement solaire local. La distance focale est aussi un paramètre de dimensionnement. Son influence sur le taux de concentration de même que sur l'écart longitudinal de la tache permettent de dégager une valeur optimale de la distance focale. Pour chacun des paramètres modifiés, les caractéristiques géométriques du capteur sont calculés.

2. Un autre programme permet d'intégrer les valeurs météorologiques, afin de dégager les relations entre la puissance du gisement, l'angle d'incidence et le nombre d'heures pendant lesquels ces paramètres se trouvent dans une même catégorie (classe).

Le rayonnement est classé et pondéré en deux catégories principales selon que l'axe de rotation du champ solaire est choisi en direction Nord-Sud ou Est-Ouest. On montre que pour le gisement local (données statistiques MétéoNorm pour Pully), la version Nord-Sud présente une ressource énergétique plus importante que dans l'autre cas.

3. Un couplage entre les deux volets précédents, de même qu'une intégration selon un modèle conceptuel simple, incluant les caractéristiques du cycle ORC et du champ de capteur ont permis de dégager les performances envisageables pour divers choix dimensionnels.

1 Description technique d'un module de CEP

1-1 Principe et généralités

Le fonctionnement du CEP est basé, comme pour tout autre concentrateur, sur trois principes:

- Suivi du soleil dans mouvement apparent suivant le type de monture du concentrateur,
- Concentration des rayons solaires à l'aide d'un réflecteur sur une zone focale appelée foyer optique ou tache focale,
- Conversion de l'énergie rayonnante concentrée en énergie thermique.

Pour le CEP, la conception d'un réflecteur selon une structure lamellaire offre un net avantage optique par rapport aux solutions classiques (miroir cylindro-parabolique monobloc). Cela réside essentiellement dans la maîtrise de la tache focale lumineuse et en particulier en ce qui concerne la répartition de sa densité lumineuse.

Sur le plan de la rigidité mécanique, on peut facilement vérifier que la structure lamellaire participe bien dans la rigidification du réflecteur et cela car elle se constitue comme une sorte de passoire à l'écoulement de l'air en cas de vent violent (diminution des forces de traînée). C'est ainsi que ce type de structure, permet de diminuer considérablement le risque de défocalisation optique causé par les forces du vent. La structure lamellaire est facile à mettre en oeuvre et repose sur des phases de construction caractérisées par une faible complexité technologique industrielle. Avec une technologie de réflecteur rendue, d'une part, non vulnérable aux instabilités dues aux forces de traînée, et d'autre part, peu sensible aux phénomènes de torsion dues au propre poids, les mécanismes de poursuite du soleil deviennent ainsi peu complexes car une grande précision devient faiblement requise.

Les performances thermiques sont assurées grâce à la technique d'isolation par le vide, d'une part, et à celle de la sélectivité de l'absorbeur, d'autre part. Une bonne liaison verre-métal peut garantir la durée de vie du vide et par conséquent les hautes performances thermiques du concentrateur. L'amélioration de la nature d'écoulement du fluide caloporteur et l'optimisation du contenu de l'absorbeur, complètent les performances énergétiques du concentrateur.

1-2 Monture d'orientation et de suivi du soleil

Sur la base d'une étude statistique opérée sur le site de Lausanne dans le but d'évaluer le gisement solaire annuel, l'orientation **Nord-Sud** s'impose par rapport à celle Est-Ouest qui présente également une nette dégradation du taux de concentration géométrique vers le début et la fin d'une journée. Les valeurs statistiques sources proviennent d'un fichier Météonorme de Pully pour l'année 1991. La distribution annuelle de même que le classement annuel des valeurs de rayonnement sont représentés aux figures 2-2-1 à 2-2-4, d'où sont issues les valeurs représentées dans le tableau suivant.

Rayonnement global horizontal kWh/m2	Rayonnement direct horizontal kWh/m2	Type de monture et de suivi	Rayonnement direct normal kWh/m2
1170	515.5	suivi Nord-Sud	797
		suivi Est-Ouest	700

1-3 Taux de concentration géométrique

Le taux de concentration géométrique est un paramètre clé dans la réduction des pertes thermiques (meilleur rendement) et de la contenance en fluide caloporteur (meilleur comportement dynamique). La valeur retenue est de "**35 soleil**" aux conditions nominales de design, soit correspondant à un angle d'incidence de 15°

1-4 Surface par mètre linéaire

Largeur de la surface active apparente: 2.620 m

Largeur de la surface matérielle: 2.754 m

Largeur de la surface globale hors-tout: 3.219 m

1-5 Distance focale

Distance entre l'axe du foyer et le plan des lamelles: 1.781 m

1-6 Foyer-absorbeur

Le foyer absorbeur est constitué de 2 principaux éléments:

1-6-1 Tube en verre et couvercle de liaison avec l'absorbeur

Le tube est de diamètre 100 mm et d'épaisseur de 3.5 mm. La longueur utile d'un module de tube en verre est de 4800 mm. Le poids est de 2.36 kg/m.

Le verre est de qualité optique supérieur (DURAN de SCHOTT ROHRGLAS). La pression de vide qui règne est de 10^{-3} Torr elle est assurée à l'aide de getters. La longueur utile est obtenue grâce à un soudage verre-verre, de deux tube de 2400 mm, assuré et prouvé par la firme bernoise TRABOLD. L'étanchéité et l'assemblage avec l'absorbeur sont assurés à l'aide d'un joint de soudure verre-métal en COVAR. Le joint verre-métal assure également la liaison flexible dans le but d'absorber toute dilatation thermique et contrainte mécanique. Le tube en verre est débouchant des deux côtés permettant ainsi tout assemblage en série avec un autre tube.

1-6-2 Absorbeur à couche sélective

Il s'agit d'un développement original de COGENER en collaboration avec la firme valaisanne Énergie Solaire SA hautement qualifiée dans la fabrication d'absorbeurs avec couche sélective performante pour les capteurs solaires plans. L'absorbeur s'appuie donc sur une technologie prouvée développée par cette firme.

L'absorbeur est en acier inox chrome-nickel austénitique (1.4301). Il se présente sous forme d'une ailette à lame d'eau avec surface d'échange se constituant en canal traversant.

La largeur est de 85 mm, la longueur utile est de 4720 mm, soit une surface active 0.401 m² par module. Le diamètre de chaque embouchure de raccordement est de 14 mm. Le contenu en fluide caloporteur est de 2.35 l/m² et la capacité thermique, rempli de fluide, est de 18 kJ/m².

Le principe du transfert de chaleur se base sur une amélioration de surface par emboutissage de forme. Il s'agit d'un emboutissage sur les deux faces du canal de formes carrés croisés à demi pas. Cette disposition impose au fluide caloporteur des divisions successives en filets multiples et un flux turbulent, assurant ainsi une parfaite irrigation de l'absorbeur. De cette conception résulte un coefficient de transfert thermique (F') supérieur à 0.9.

Le contact entre les deux faces est assuré à l'aide d'un soudage ohmique (par point au centre, et linéiques dans les bords). La pression garantie est de 6 bar.

La liaison avec le tube en verre (Jonction verre métal) est assurée à l'aide d'un raccord soudé spécial en chaque embouchure du canal. Il est également prévu une pince, en fil inoxydable rigide, rapportée entre les bords de l'ailette et surface interne du tube en verre. Cela garanti la concentricité absorbeur-tube, évite les ponts thermiques et absorbe les chocs thermo-mécaniques dus au propre poids de l'absorbeur et aux dilatations.

L'absorbeur est doté d'un revêtement sélectif (Noir de Nickel-chrôme sur acier inox) résistant aux hautes températures selon test à 250 °C (Test SPF D39, Rapperswil).

	Test de référence	Test 1	Test 2	Test 3
Température	250 °C	250 °C	250 °C	250 °C
Durée de test	-	80 h	120 h	160 h
Absorption	0.960	0.948	0.946	0.947
Émission	0.048	0.053	0.049	0.053

1-7 Lamelles de réflexion

Elles sont au nombre de 56 lamelles de largeurs différentes régressives au fur et à mesure de l'écartement de l'axe central. La moyenne des largeurs des lamelles est de 49 mm.

L'agencement des lamelles est fait de telle sorte que l'on réduise la dispersion optique de la tache focale au niveau de foyer due: au cône de divergence solaire, aux variations horaires de l'angle d'incidence et aux déformation mécanique de type voilement de toute la structure supportant les lamelles.

Les largeurs des lamelles sont choisies de telle sorte que la tache focale soit toujours inscrite dans l'ailette de l'absorbeur (sans débordement) avec un taux de concentration optimal quelque soit la variation de l'angle d'incidence pour des valeur inférieures à 50°.

Deux options de matériaux sont possibles à obtenir:

1-7-1 Lamelles en sandwich de verre

Il s'agit d'un développement original où l'on utilise du verre recyclé sans exigence de précision (face inférieure) comme support d'un verre mince doté d'une couche réfléchissante en Argent (face supérieure). Cette technique s'est avéré très efficace dans la centrale solaire à concentration de Vignola en CORSE. L'utilisation d'un verre recyclé, de fabrication suisse, est une originalité du CEP sur les plans écologiques et économique.

1-7-2 Variante en polymère technique

Il s'agit d'un développement original de COGENER en collaboration avec la firme POLYKEM du PSE. La technologie est possible à acquérir dans la mesure où elle est largement prouvée dans l'industrie automobile (des contacts ont été déjà pris avec la firme Volkswagen). Les propriétés optiques et de tenue mécanique et contre-abrasive sont ainsi largement confirmées et justifiées par rapport à un miroir classique.

Cette variante en matières plastiques facilite énormément la fixation par clipage sur des gabarits en donnant l'angle exact des différents lamelles et en évitant tout risque de bris. Comme elle permet de réduire considérablement le contenu énergétique du réflecteur (énergie grise) et garantie une pérennité écologique optimale.

Il s'agit de lamelles en polymère technique (ASA ou ABS) avec giclage de couche réfléchissante en TiN (Nitrure de titane) grâce au procédé PAMS (Plasma Assisted Magnetron Sputtering). (se référer aux annexes pour plus de détails).

Ce développement peut profiter du développement en cours d'une nouvelle génération de polymères (Cyclic Olefin Copolymer)

1-8 Éléments de liaison de la monture

1-8-1 Fixation des lamelles

La fixation des lamelles est assurée par clipage à l'aide d'un gabarit en plastique hautement résistant aux intempéries et aux contraintes mécaniques (ABS). Chaque gabarit est muni de clips (provenant directement du moulage). La forme du gabarit est conçue de sorte qu'elle assure l'inclinaison et l'espacement des lamelles selon les précisions requises pour minimiser les pertes optiques au foyer.

1-8-2 Fixation des gabarits supports de lamelles

Les gabarits supports de lamelles sont fixé, de part et d'autre de l'axe centrale de pivotage, à l'aide d'un système de serrage à haute adhésion à l'aide d'une surface crantée. L'alignement des gabarits lors du montage des lamelles est assurée à l'aide d'un rayon Laser.

1-8-3 Fixation du foyer-absorbeur

Le tube sous-vide (foyer-absorbeur) est fixé par bridage sur un bras à section tubulaire fixé à son tour sur l'axe de pivotage central et perpendiculairement au plan des lamelles. Des joints en caoutchouc spécial (résistant à la chaleur) sont prévus afin d'éviter les risques de brisure du verre.

1-8-4 Entraînement du réflecteur et du foyer

L'entraînement du réflecteur (ensemble lamelles-gabarits) et du foyer (ensemble bras-foyer) est obtenu moyennant un axe de pivotage central de section tubulaire. Le faible poids de l'ensemble foyer-bras-gabarits-lamelles) procure une économie de matière et de structure de l'axe de pivotage central.

1-9 Accessoires et équipement auxiliaire

1-9-1 Suiveur du soleil (système de tracking)

Pour une distance focale de 1.781 m, une largeur moyenne de la tache focale de 75 mm (contre 85 mm pour l'absorbeur), la précision requise est de $\pm 0.16^\circ$. Par comparaison avec les systèmes de suivi des cyclindro-paraboliques (LS3), le CEP présente l'avantage de multiplier par 3 la marge de précision.

Le système de suivi est basé sur le pointage du réflecteur face au soleil à l'aide d'une correction intermittente de position assuré par un couple de cellule photosensible et un moteur à courant continu. La firme bernoise ATLANTIS a développé un système de suivi performant qui équipera le CEP.

A noter qu'avec le CEP, la précision optique est améliorée étant donné la présence d'une structure légère par rapport à un concentrateur conçu entièrement en verre et en acier. De plus, les forces de traînée dus au vents sont minimisés du fait de la structure lamellaire. Ces deux facteurs rendent le système de suivi moins sensible aux perturbations d'où moins de complexité technologique.

1-9-2 Pompe, raccords hydrauliques et isolation thermique

Une pompe à trois niveaux de débits assure l'irrigation du CEP en fluide caloporteur, en l'occurrence l'huile thermique Syltherme 800. La pompe est placée dans une boucle de circulation avec bypass assuré à l'aide d'une électrovanne à trois voies. L'électrovanne est réglée par "tout ou rien" suivant deux consignes de niveau et d'écart de température.

Le raccordement des foyer-absorbeurs avec les conduites calorifugées de liaison sera assuré à l'aide d'une technique de raccord sphérique hautement étanche développée par la firme KJC (exploitant des centrales solaires en californie). Avec la construction d'une boucle à épingle (ou à plusieurs pour les grands champs de CEP), les pertes thermiques à travers des conduites calorifugées sont réduites au minimum.

1-9-3 Instrumentation

Une instrumentation est prévue afin de mesurer les performances thermiques du CEP. Elle comprend:

- Mesure de température à chaque entrée et sortie de foyer-absorbeur et de la température ambiante.
- Mesure du débit massique.
- Mesure du rayonnement direct normal et incident.
- Mesure de la vitesse du vent.

L'instrumentation expérimentale est reliée à un ordinateur de commande et de contrôle centralisé.

1-9-4 Régulation et le système de commande

Les niveaux et d'écart de température sont réglés en jouant sur les paramètres suivants:

- Défocalisation opérationnelle avec réglage fin.
- Bypass assuré à l'aide d'une vanne à trois voie.
- Choix du débit du fluide caloporteur parmi deux valeurs nominales.

Bien que la puissance thermique du CEP dépend directement de la valeur du rayonnement solaire, elle peut être optimisée grâce à ces trois paramètres de réglage et cela dans le but d'adapter les niveaux de température et de pincement par rapport au réseau vapeur du cycle ORC.

Une défocalisation d'urgence est prévue afin d'éviter tout risque de prise du feu suite à une fuite de vapeur d'huile.

1-9-5 Équipements de maintenance de nettoyage

Un système d'auto-nettoyage intégré permet d'augmenter la fréquence d'intervention pour le nettoyage de la surface réfléchissante. Techniquement, il s'agit de l'utilisation d'une technologie microtechnique avancée basée sur le jet d'eau. Cette technique permettra non seulement d'améliorer les performances optiques du concentrateur, car l'on évitera le dépôt de poussière et l'encrassement, mais aussi de diminuer considérablement l'intervention humaine du fait de l'utilisation d'un robot. A préciser que la solution du robot n'est pas techniquement envisageable dans le cas des concentrateurs paraboliques classiques.

Le procédé de nettoyage est écologique et cela à l'aide d'un système de récupération intégré et de recyclage de l'eau s'opérant en continu et n'utilisant pas les produits détergents.

2 Caractéristiques et performances de design d'un champ de CEP pour un site à Lausanne et un cycle ORC de puissance nominale 8.6 KWe et maximale de 16.5 KWe

La centrale prototype serait installée à l'EPFL sur un site à choisir entre le toit du laboratoire LENI, le parc scientifique deuxième tranche ou d'autres terrains attenants.

2-1 Taux de concentration et effets de bord latéraux et longitudinaux de la tache focale

La valeur du taux de concentration nominal subit des variations horaires et journalières et obéit à des loi de variation statistiques liées à la disponibilité du gisement solaire. La valeur minimale est de l'ordre 25.4 soleil et correspond à un angle d'incidence de 50°.

Angle d'incidence	Taux de concentration.	Largeur moyenne de la tache focale [m] (*)	Écart longitudinal de la tache focale [m]	Énergie normale Nord Sud (kWh/m2/an)	Nombre d'heure (h)
0 [0-5°]	35.48	0.075	0	75.58	178
10 [5-15°]	35.48	0.076	0.363	164.8	382
20 [15-25°]	34.48	0.078	0.75	221	514
30 [25-35°]	32.67	0.082	1.19	128.6	324
40 [35-45°]	29.78	0.09	1.73	81	234
50 [45-55°]	25.43	0.106	2.457	55	178

(*) Largeur de l'absorbeur: 85 mm

La largeur de l'absorbeur est choisie de telle sorte que la tache focale soit toujours inscrite de manière optimale en son sein, et cela quelque soit la variation de l'angle d'incidence pour des valeur inférieures à 50°.

2-2 Grandeurs de design

Deux paramètres importants de dimensionnement font l'objet d'un choix, qui dans notre cas est assisté par les calculs et résultats de production électrique spécifique, déterminés par un modèle de simulation intégrant les modèles des capteurs et du cycle ORC. Ces

deux paramètres sont le rayonnement de design et la puissance électrique nominale correspondante. La surface de captage est déterminée par le choix de ces deux paramètres.

Les relations utilisées pour analyser le système entier sont les modèles suivant:

- Equation du capteur (Caractéristique d'un capteur de Schweizer)
- Equation du cycle (Interpolation de valeurs fournies par le LENI et issues de leur programme de calcul)
- Equation de l'évaporateur (Spécifiant le niveau de température de l'échange thermique entre les deux parties.)

La complexité des équation a nécessité l'utilisation d'itérations pour trouver les valeurs des températures de fonctionnement de l'échangeur et du champ de capteur. Les valeurs de production thermique, électrique ou de la surface du champ peuvent alors être extraites et analysées.

2-2-1 Gisement solaire

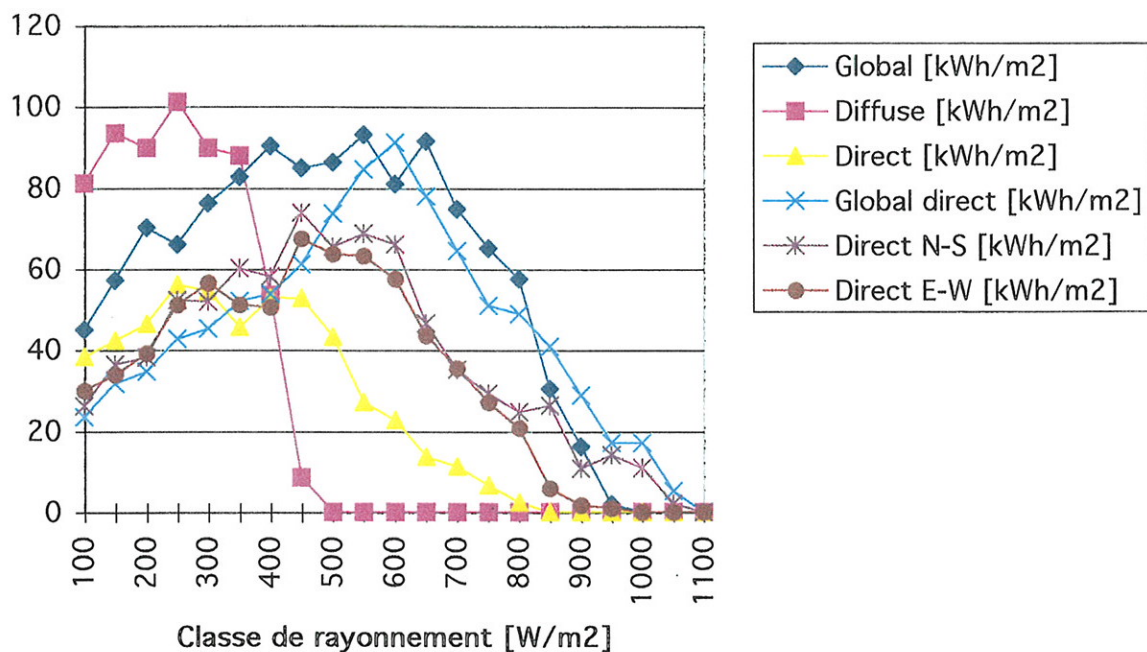
Les graphiques suivants représentent les distributions et classement du gisement solaire. Le cumule de l'énergie solaire annuel disponible est égal à 120'125 kWh.

Les figures 2.2.1 et 2.2.3 montrent que pour le gisement local (données statistiques MétéoNorm pour Pully), la version Nord-Sud présente une ressource énergétique plus importante que dans l'autre cas. A haut rayonnement solaire ($> 800 \text{ W/m}^2$), la version Est-Ouest représente une plus faible ressource énergétique, car le fichier source du gisement solaire (MétéoNorm) indique un rayonnement annuel plus important en cours d'après-midi qu'à midi solaire. Or, c'est après le midi solaire que l'angle téta est plus petit dans la version Nord-Sud et plus grand dans la version Est-Ouest, d'où la différence de ressources énergétique entre les deux versions à haut rayonnement solaire

Les graphiques représentés aux figures 2-2-1 à 2-2-4 sont tirés de simulation où le facteur IAM (Incident Angle Modifier) n'a pas été pris en compte. En annexe se trouvent les graphiques représentant les mêmes simulations, mais en tenant compte du facteur IAM. Les valeurs des coefficients pour le calcul du facteur IAM utilisé dans la modélisation des performances du capteur sont issues de valeurs expérimentales sur les capteurs LS2 de KJC.

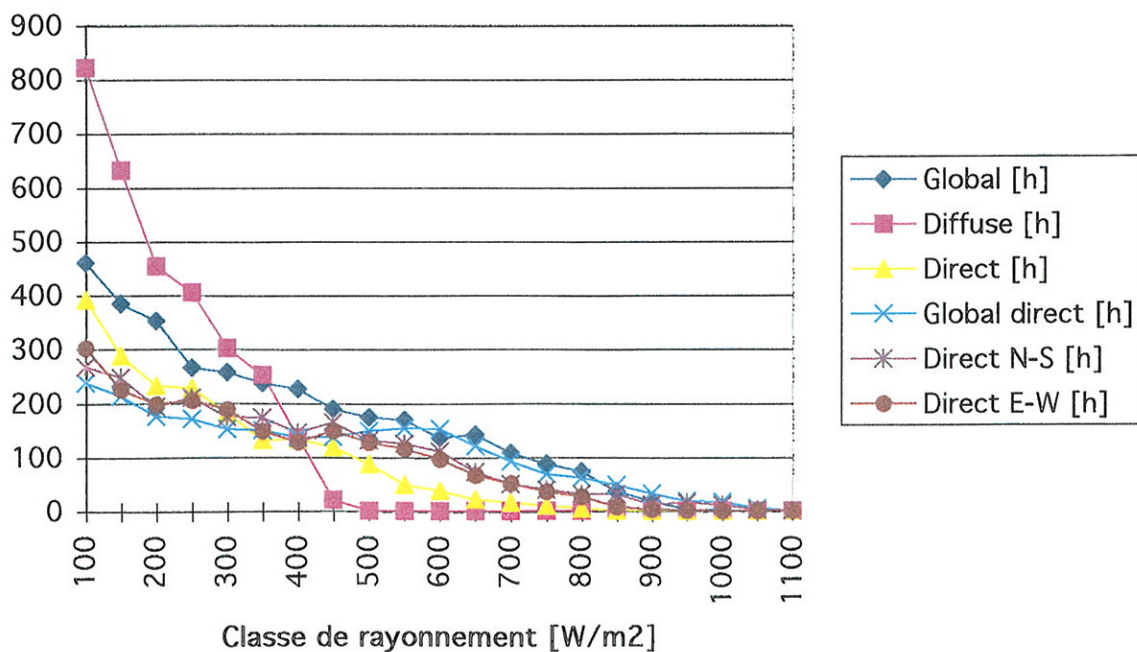
2-2-1 Distribution du gisement solaire

Courbes de distribution annuelles, sans IAM
(MeteoNorm Pully)

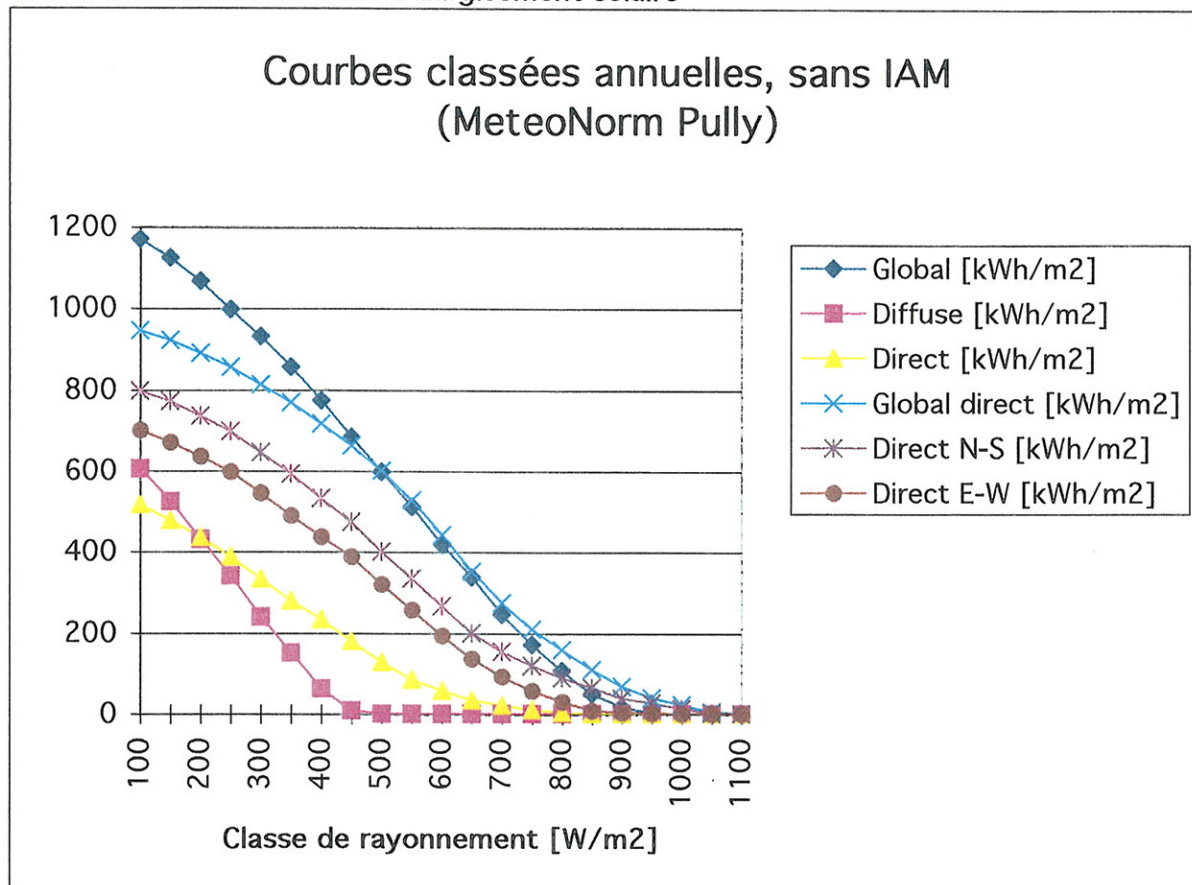


2-2-2 Distribution horaire du gisement solaire

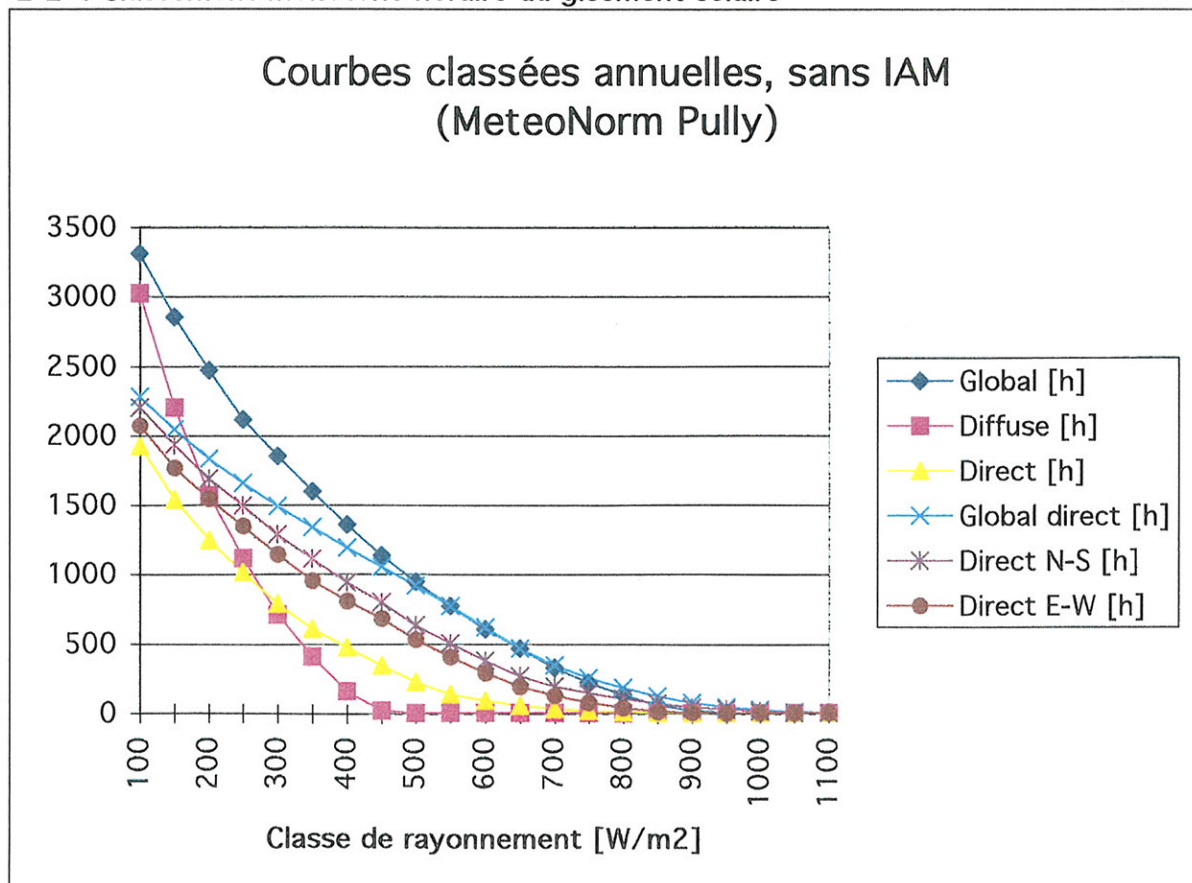
Courbes de distribution annuelles, sans IAM
(MeteoNorm Pully)



2-2-3 Classement monotone du gisement solaire



2-2-4 Classement monotone horaire du gisement solaire



2-2-2 Rayonnement solaire de design

Suite à plusieurs simulations correspondant à des variations des deux valeurs de design (rayonnement et puissance nominale correspondante), des valeurs de production spécifiques ont pu être dégagées pour chaque cas simulé. Les résultats sont représentés dans le graphique de la figure 3-3, où un maximum est visible pour une valeur de rayonnement de design égal à 450 W/m². C'est donc la valeur de design retenue pour le dimensionnement du champ de capteur.

2-2-3 Puissances nominale et maximale de design

La figure 3-3 montre que la variation de la puissance nominale de design pour une valeur de rayonnement de 450 W/m² n'a pas beaucoup d'effet sur la production spécifique électrique. Ainsi, pour réduire la surface du champ de capteur et les coûts associés, le choix s'est porté sur une puissance électrique nominale de 8.6 kW, qui est égale à la puissance produite lors d'un rayonnement solaire de 450 W/m². La valeur de l'énergie thermique produite par le CEP dans les conditions nominales est égale à 55 kW_{th}. La valeur maximale est égale à 93.8 kW_{th} et correspond à une puissance électrique de 16.6 kW. (Se référer au tableau suivant, dont les valeurs issues de simulations ont été fournies par le LENI)

Puissance-transformation huile	Puissance électrique	Température d'évaporation HT	Efficacité de cycles
kW	kW	°C	%
93.8	16.6	148	17.4
81.2	14.1	141	17.1
68.5	11.4	131	16.4
55.9	8.6	122	15.3

2-2-4 Caractéristiques des capteurs

Le rendement énergétique des capteurs est modélisé en utilisant les valeurs des coefficients des capteurs de Schweizer Solartechnologie, dont les performances ont été testées à Rapperswil. La caractéristique est la suivante:

$$\eta = 0.8152 - 1.98 * (T_m - T_a) / G_k - 0.007 * (T_m - T_a)^2 / G_k$$

Avec:

T_m :	°C	Température moyenne du capteur
T_a	°C	Température atmosphérique
G_k :	W/m ²	Rayonnement global sur l'absorbeur

2-3 Surface de captation

2-3-1 Sans prise en compte des effets de bord

La surface de captation du champ solaire pour un rayonnement de design de 450 W/m² est égale à 154.3 m². Les concentrateurs sont disposés dans un plan à mécanisme orientable et tubes absorbeurs sous vide refroidi par huile thermique. Ces capteurs sont disposés en deux lignes parallèles orientées nord-sud.

2-3-2 Avec prise en compte des effets de bord

Les effets de bord latéraux sont pris en compte dans le calcul du taux de concentration effectif. Ce taux de concentration est intégré dans le calcul de la surface de design pour donner la valeur de 154.3 m². Une pondération des écart longitudinaux (en fonction de l'angle d'incidence) sur une base énergétique permet de calculer la surface totale de captation qui tient compte des effets de bord longitudinaux. La surface de captage est majorée de 4.72 m² (2 x 2.36 m²) pour atteindre une valeur optimale de 159 m².

2-3-3 Description du champ

Le champ est constitué de deux rangées de panneaux de 30 m de longueur, et espacés d'une distance de 7 mètres. La surface totale d'occupation du champ vaut 310 m². La surface matérielle totale vaut 2 x 83.5 m². Les deux rangées sont reliées avec un circuit hydraulique en épingle. L'entrée et la sortie du circuit sont raccordés au système du cycle bi-étagé qui se trouve dans une cabane, à proximité du champ de capteurs. Un terrain potentiel d'implantation du champ est situé à proximité de bâtiment du parc scientifique de l'EPFL. Ce terrain à l'avantage d'avoir une inclinaison de 15 à 20 °, ce qui améliore sensiblement les performances du capteur.

3 Performances d'exploitation

3-1 Prévision de l'énergie thermique produite par le champ de CEP

La valeur prévue de l'énergie thermique produite par année est égale à 85'443 kWh.

3-1-1 Efficacité énergétique du CEP

L'efficacité énergétique du champ de capteur est égale 71.1 %. Elle correspond au rapport entre l'énergie thermique annuelle produite par le champ de capteur (85'443 kWth) et le gisement solaire annuel (120'125 kWth).

3-1-2 Classement monotone de la puissance thermique

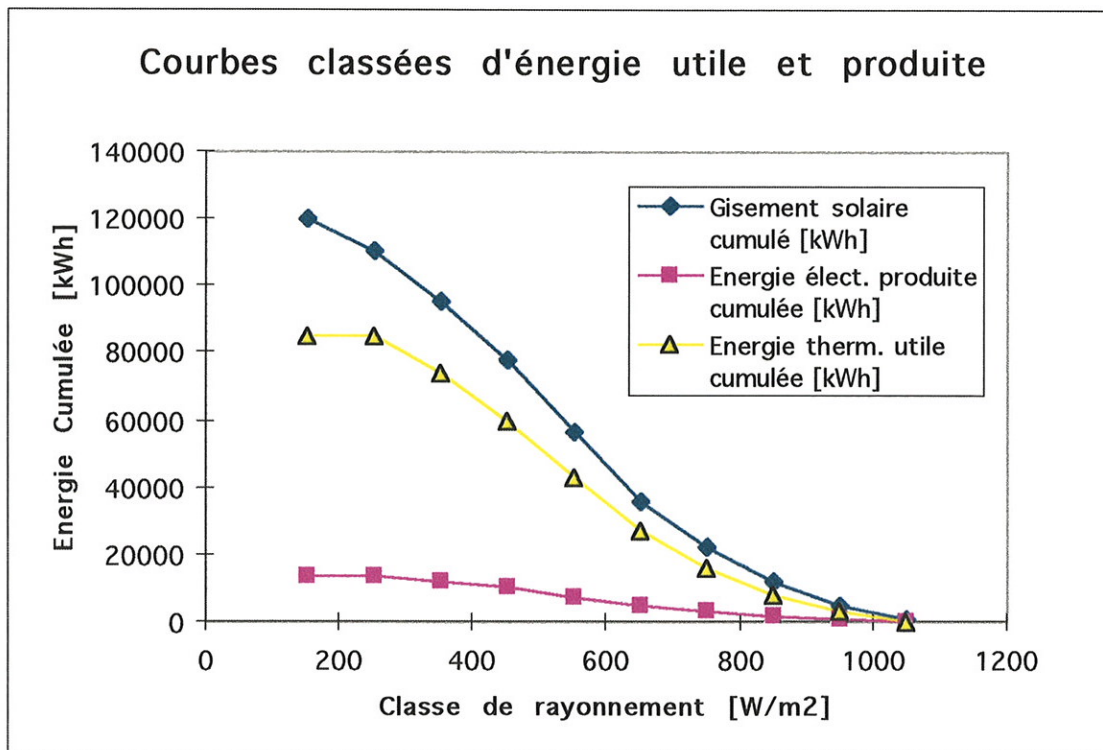


Figure 3-1-2.a

3-2 Prévision de l'énergie électrique produite

La valeur prévisionnelle de l'énergie électrique produite est égale à 13'153 kWh/an.

3-2-1 Caractéristiques du cycle ORC bi-étagé avec turbine SCROLL

Les conditions de fonctionnement nominales sont données par les chiffres suivants: Température de vaporisation: 121.8 °C, puissance thermique utilisée: 55.9 kW_{th}, puissance électrique produite : 8.6 kW_e, rendement: 15.3 %. Ces valeurs proviennent de simulations effectuées par le LENI.

3-2-2 Classement monotone de la puissance électrique

Les figures 3-2-2a à 3-2-2d figurent aux pages suivantes. On voit que la puissance électrique fournie est supérieure à 7 kW_e pendant une période correspondant à la somme des points de cette tranche, soit 851 heures sur les 1994 exploitables au niveau du capteur. Le cycle ORC ne pouvant pas être fonctionnel au dessous de cette puissance, il faut faire intervenir le stockage énergétique pour utiliser les 1150 heures restantes, pendant lesquelles environ 3000 kWh sont potentiellement produisibles. Cette valeur est issue de la figure 3-2-2-d où on voit que environ 10'000 kWh électrique sont produits pour des rayonnements supérieures à 450 W/m².

3-3 Production spécifique

L'énergie électrique produite rapportée à la surface de captage est égale à 86 kWh/m². Sur la figure 3-3 est représentée la production spécifique annuelle pour chacun de cas de design simulés. On voit que la production spécifique est maximale pour un rayonnement de design de 450 W/m². La valeur de la production spécifique est relativement faible en comparaison avec les la technologie photovoltaïque. Il faut cependant tenir compte de la grande valeur du rayonnement diffus pour le cas de la Suisse et du fait que l'utilisation de capteur à concentration ne met en valeur que le rayonnement directe, dont la proportion par rapport au rayonnement global est plus élevée dans des régions plus proches de l'équateur.

Pour chacune des puissances électriques de design simulées, la surface de captage est calculées et représentée dans le tableau suivant qui donne un aperçu de l'énergie convertie en fonction de la surface du champ considéré pour les mêmes types de turbines:

Surface	Energie électrique annuelle	Energie électrique annuelle unitaire
m ²	KWh	KWh/m ²
263	21000	80
230	19200	83
194	16600	86
154	13150	85

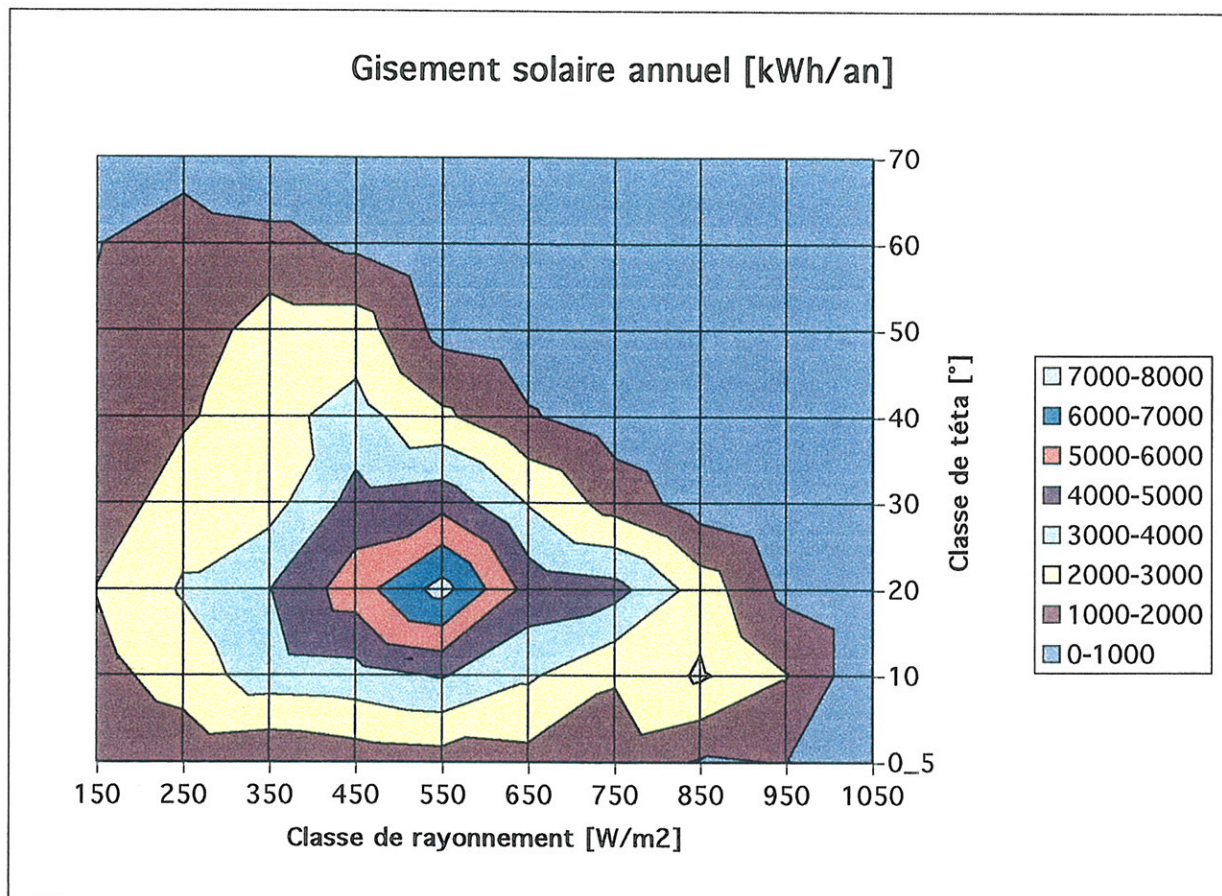


Figure 3.2.2 a

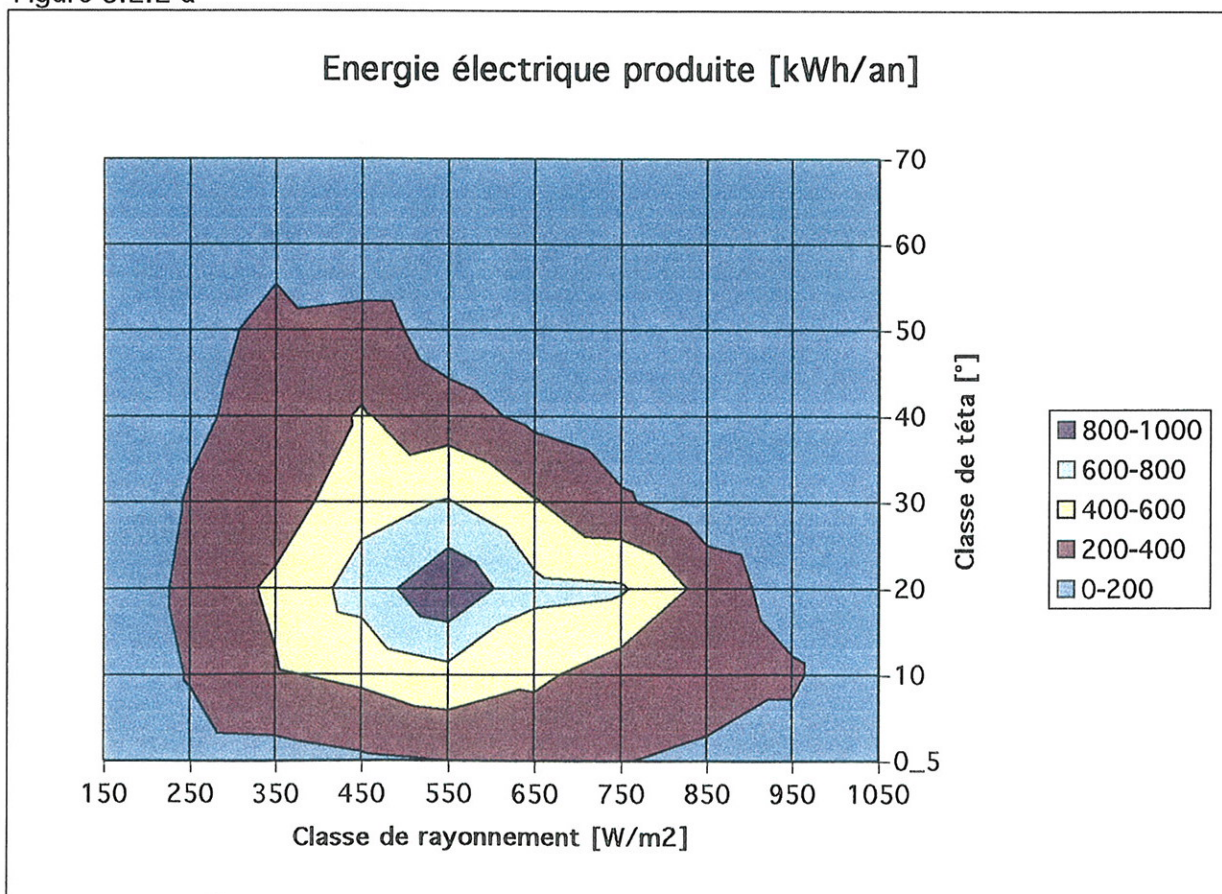


Figure 3.2.2.b

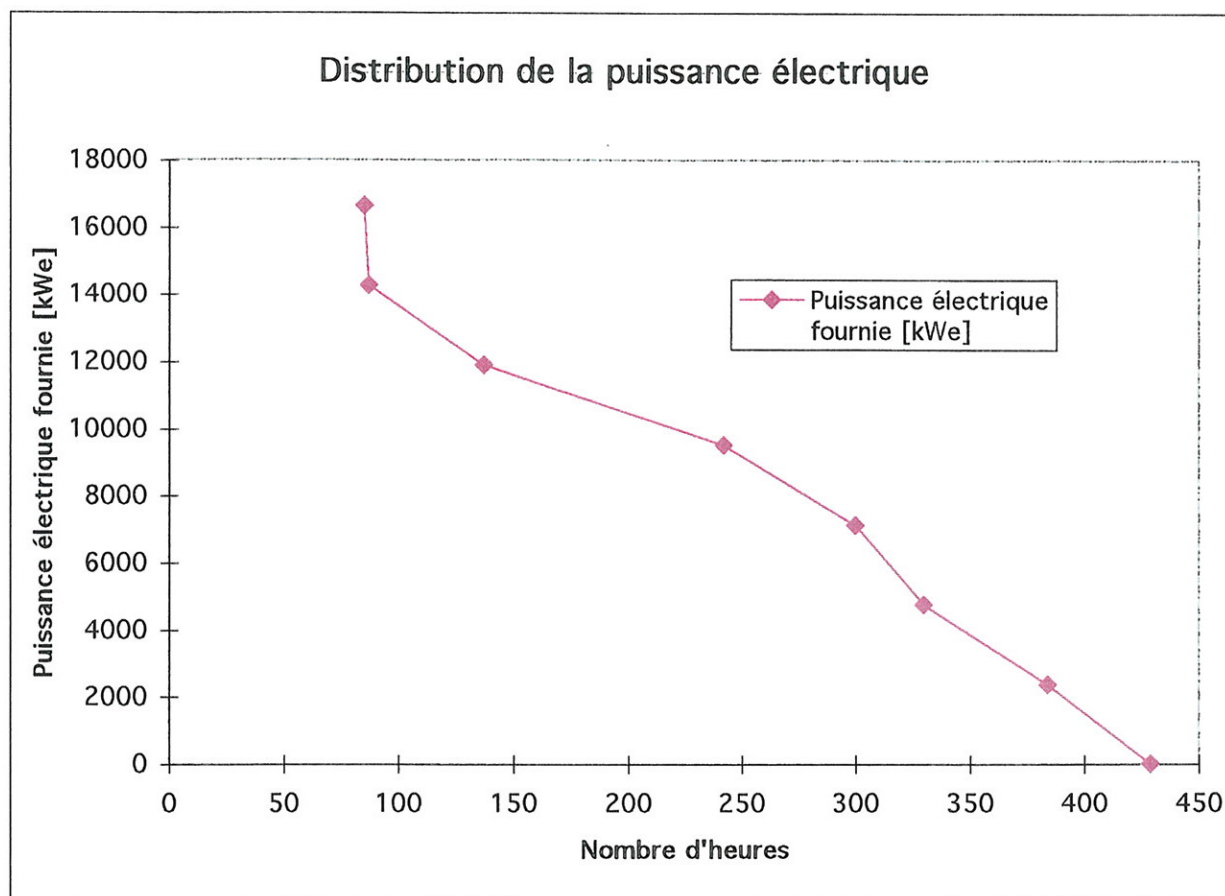


Figure 3.2.2.c

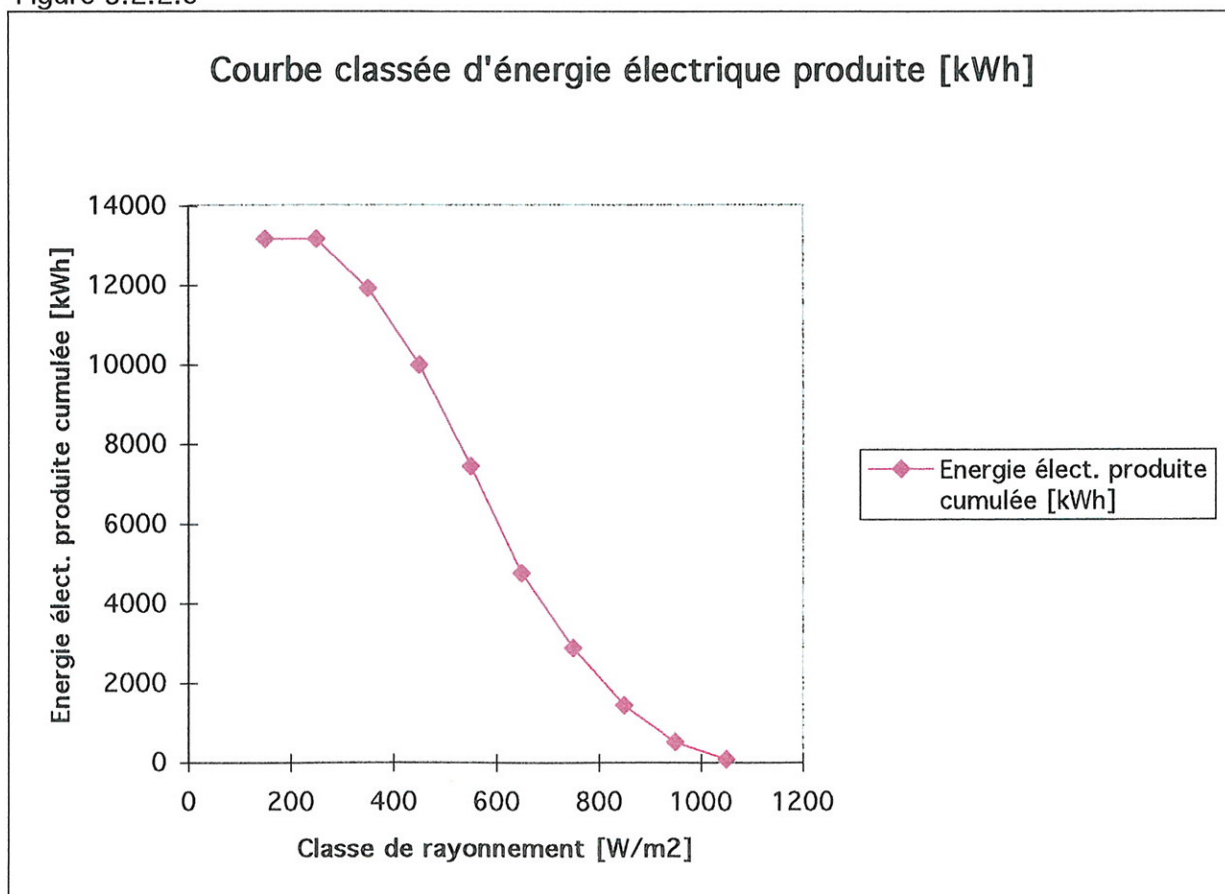


Figure 3.2.2.d

Production spécifique annuelle [kWh/m²/an]

Rayonnement de design [W/m ²]	Puissance élect. de design [kWe]			
	16.5	14.1	11.4	8.6
350	69	75	81	86
450	80	83	86	85
550	75	77	77	74
650	77	77	75	69
750	73	71	67	62
850	64	62	58	51
950	62	59	55	47

Production spécifique annuelle [kWh/m²/an]

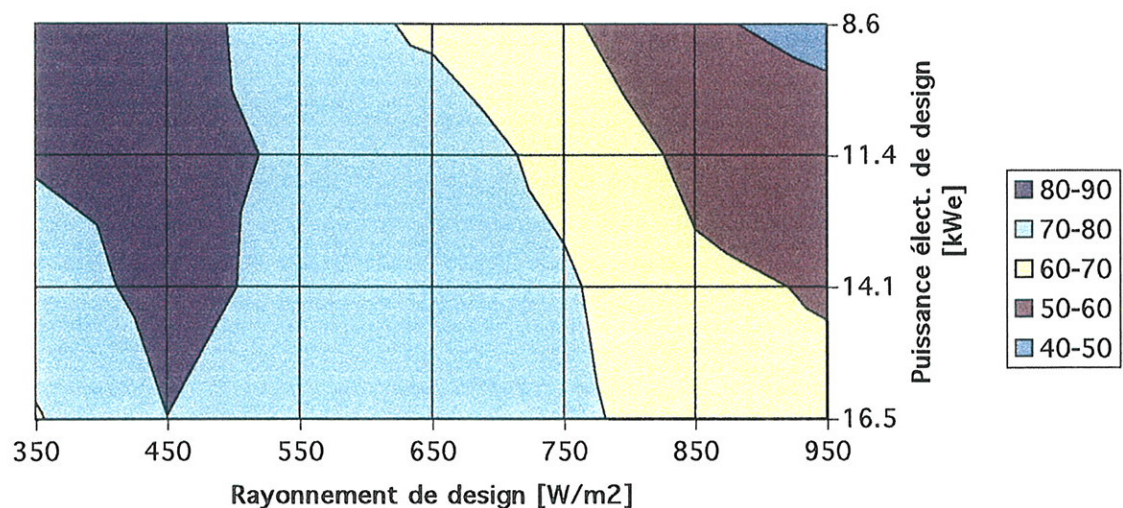


Figure 3-3

Nomenclature

IAM	Incident Angle Modifier
Téta	Angle d'incidence des rayons solaire sur un plan orientable selon un axe Nord-Sud
ORC	Organic Rankine Cycle

La légende des graphiques doit être interprétée de la manière suivante:

Global	Irradiation sur un plan horizontal tenant compte des rayons diffus et directes du soleil
Diffuse	Irradiation sur un plan horizontal tenant compte uniquement des rayons diffus .
Direct	Irradiation sur un plan horizontal tenant compte uniquement des rayons directes du soleil.
Global direct	Irradiation sur un plan suiveur, uniquement en tenant compte des rayons directes.
Direct N-S	Irradiation sur un plan mobile horizontal avec axe de rotation Nord-Sud, uniquement en tenant compte des rayons directes.
Direct E-W	Irradiation sur un plan mobile horizontal avec axe de rotation Est - Ouest, uniquement en tenant compte des rayons directes.

La terminologie utilisée pour l'énergie solaire nécessite l'utilisation des termes 'Irradiance' et 'Irradiation' en lieu et place de 'Rayonnement', distinguant aussi la puissance et l'énergie provenant du soleil. Veuillez excuser l'emploi presque systématique des termes non appropriés dans ce présent document dont la lecture ne devrait cependant pas souffrir d'incompréhension dû à ce lapsus.

ANNEXES

Structure de la monture du CEP3
Schémas

Gisement solaire

Résultats de simulation du capteur CEP3 avec
paramétrisation de la distance focale

Mesures des performances de CEP2
Tests de nuit

Résultats de simulations pour les options de
design choisies.

Absorbeur

Miroir Solaire

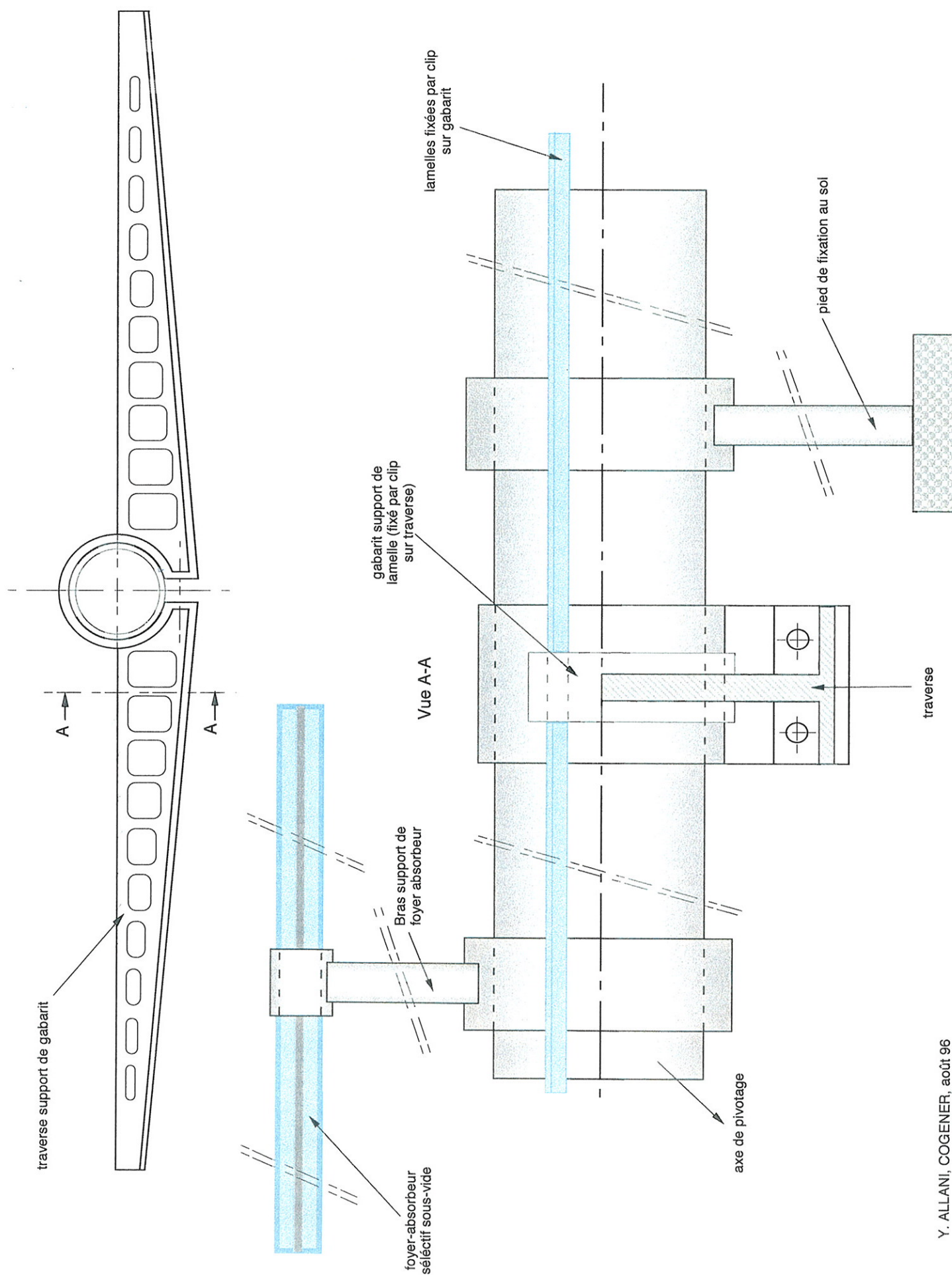
Structure de la monture du CEP3

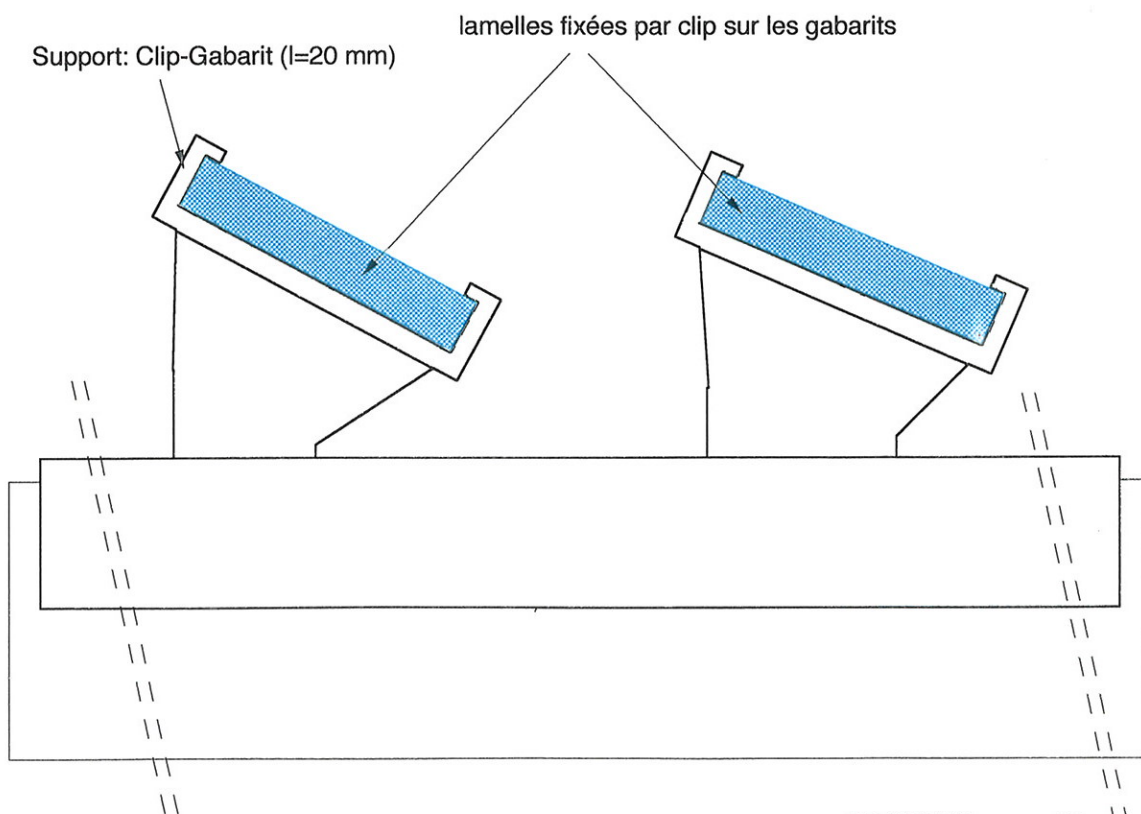
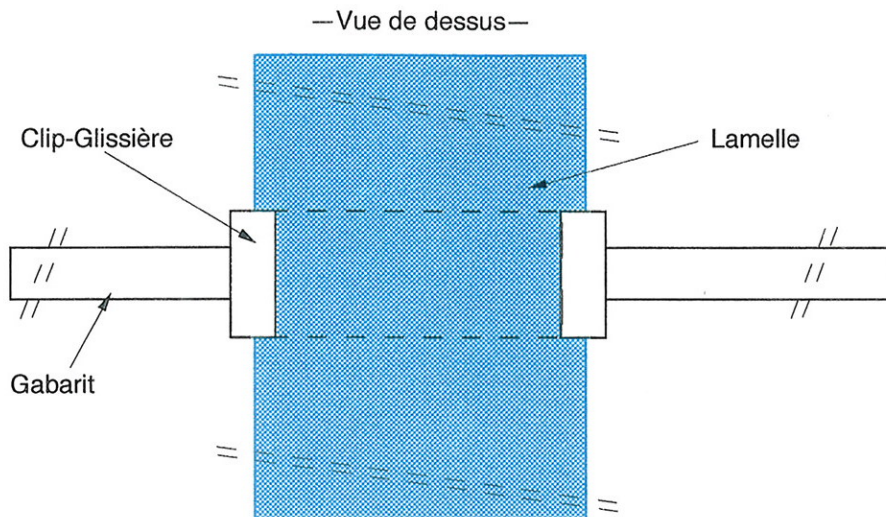
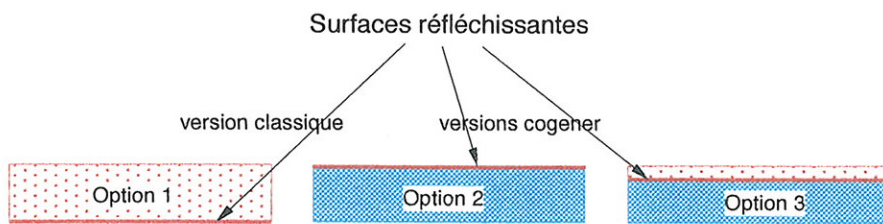
Schémas

Vues latérales et coupes des supports, gabarits et surfaces réfléchissantes

Schéma de principe de la monture CEP3

21





Sans IAM

- Distribution et classement de l'énergie disponible
- Distribution et classement horaire
- Répartition énergétique et horaire de l'angle d'incidence

Avec IAM

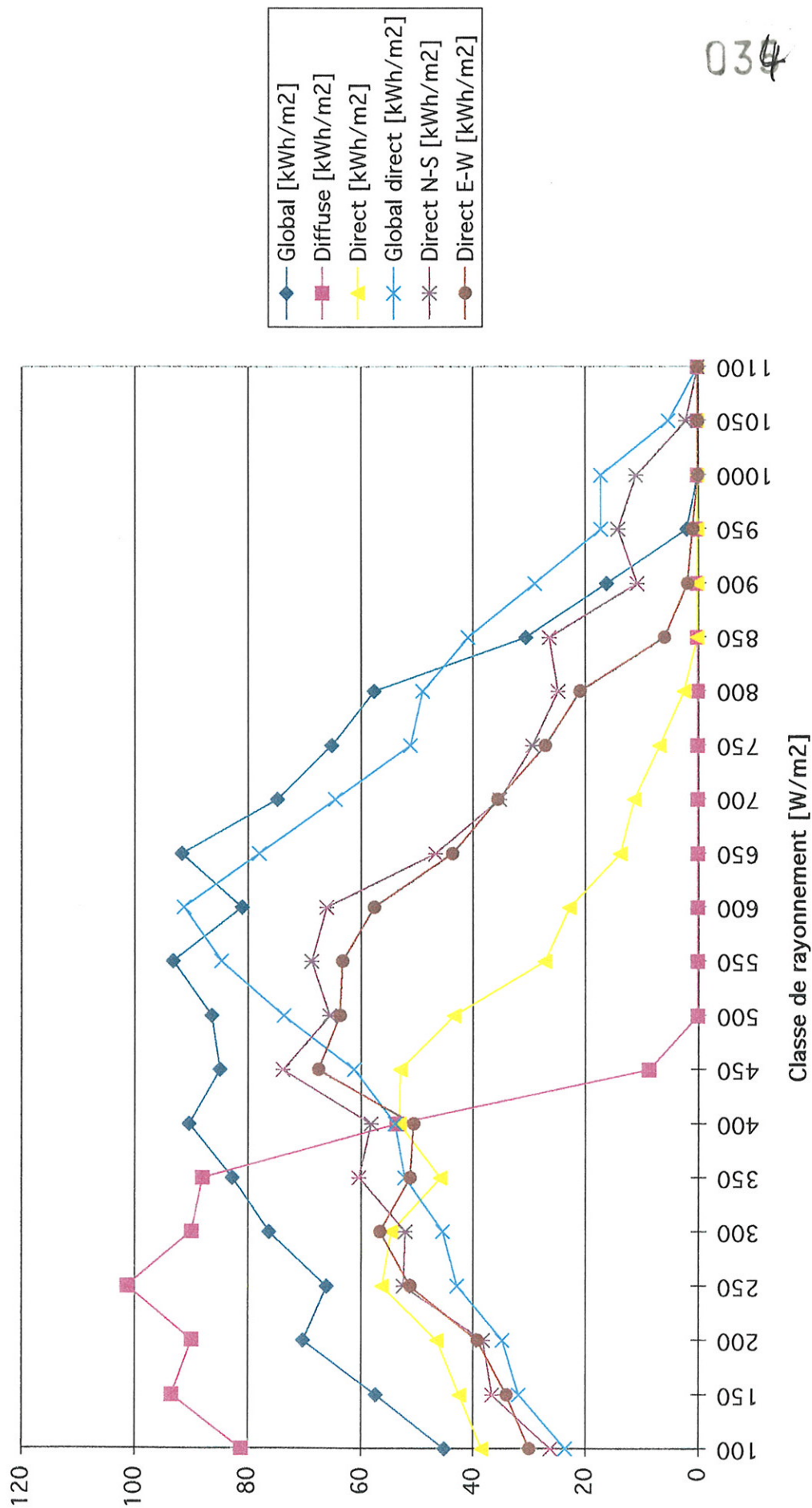
- Distribution et classement de l'énergie disponible
- Distribution et classement horaire
- Répartition énergétique et horaire de l'angle d'incidence

Carte de répartition du gisement énergétique et horaire selon l'angle d'incidence et l'intensité du rayonnement.

Représentation 2-D, 3-D + Tableau de chiffres.

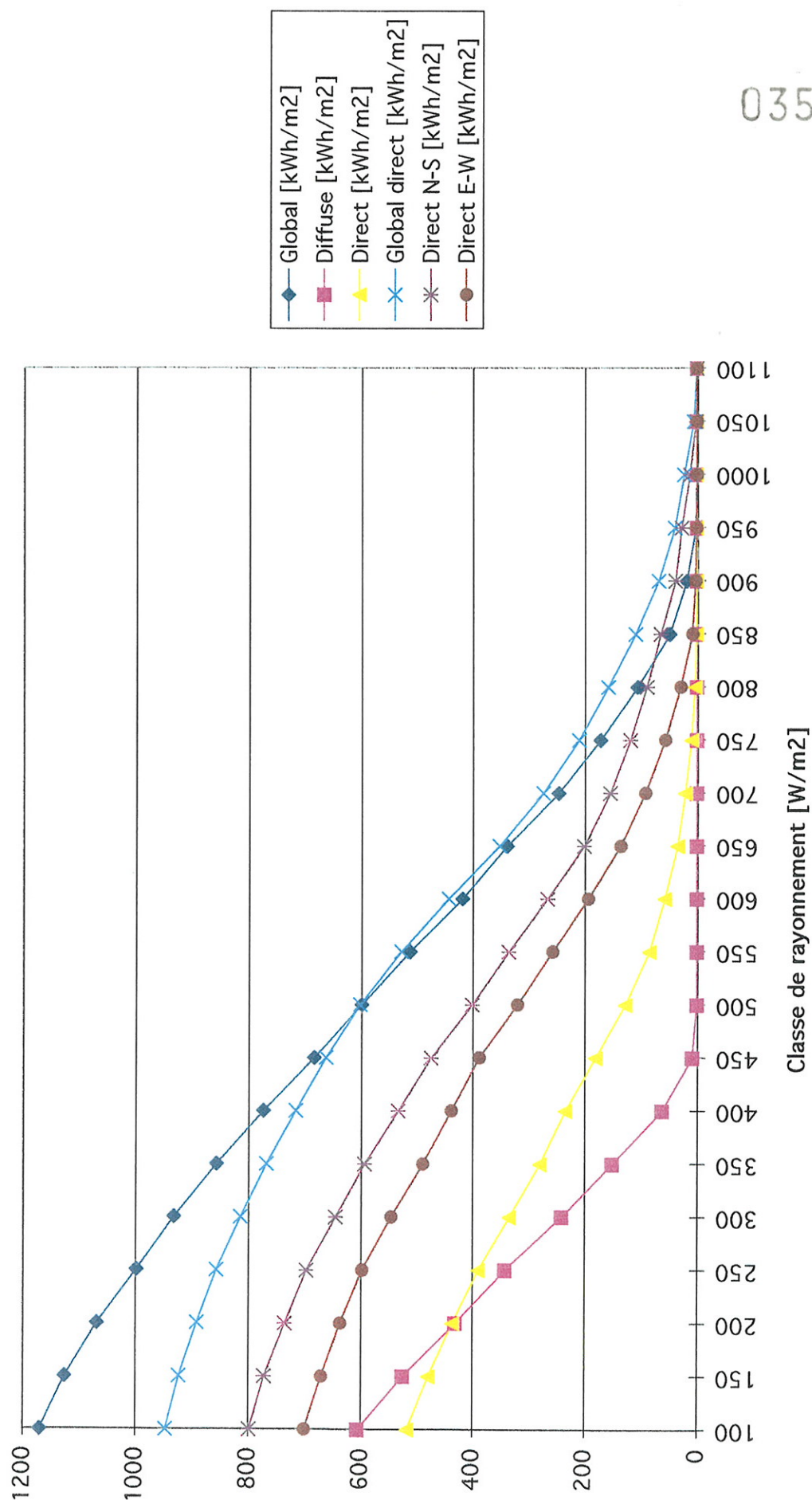
Répartition des températures moyennes selon l'angle d'incidence et l'intensité du rayonnement.

Courbes de distribution annuelles, sans IAM (MeteoNorm Pully)



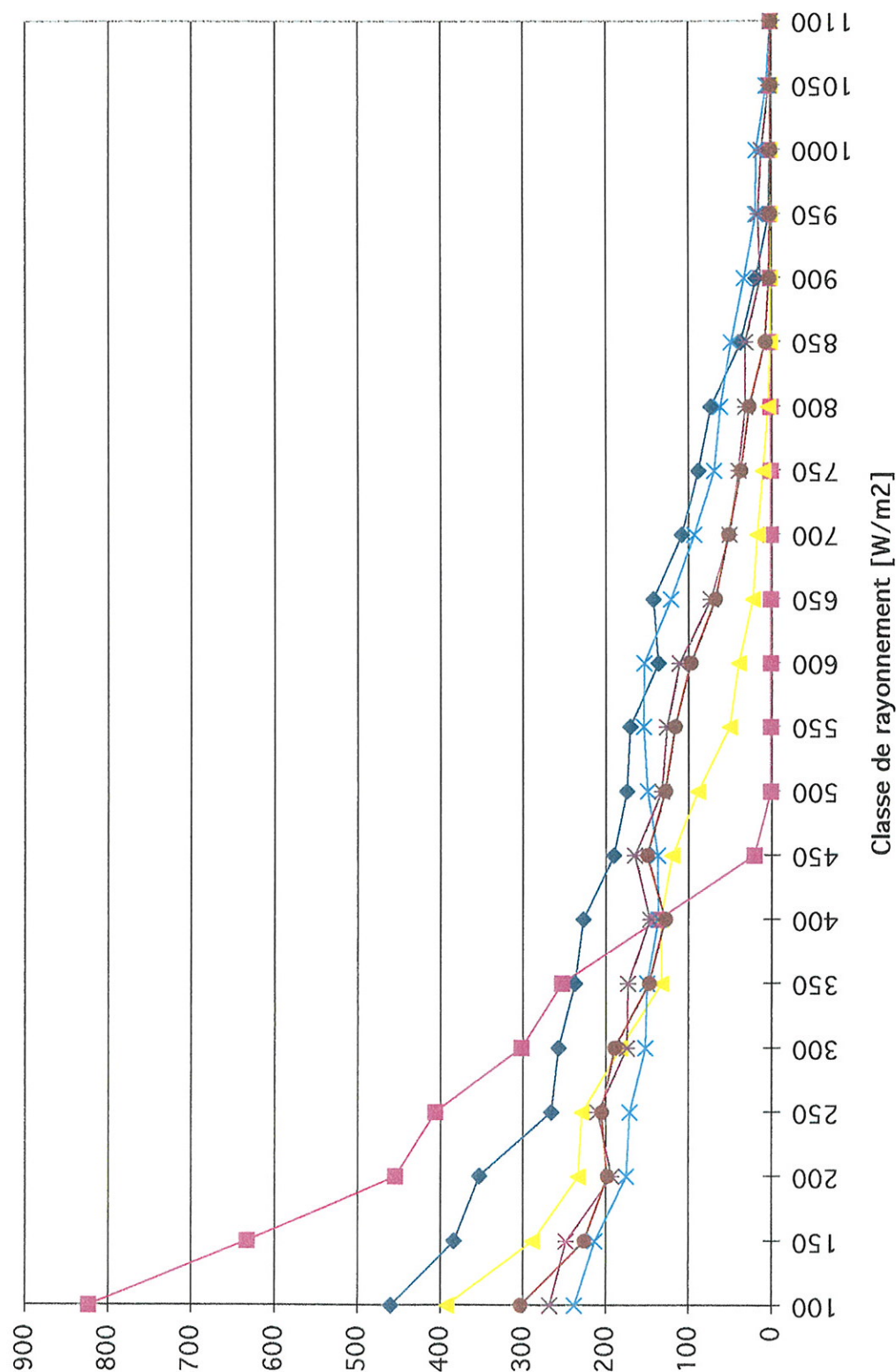
034

Courbes classées annuelles, sans IAM (MeteoNorm Pully)

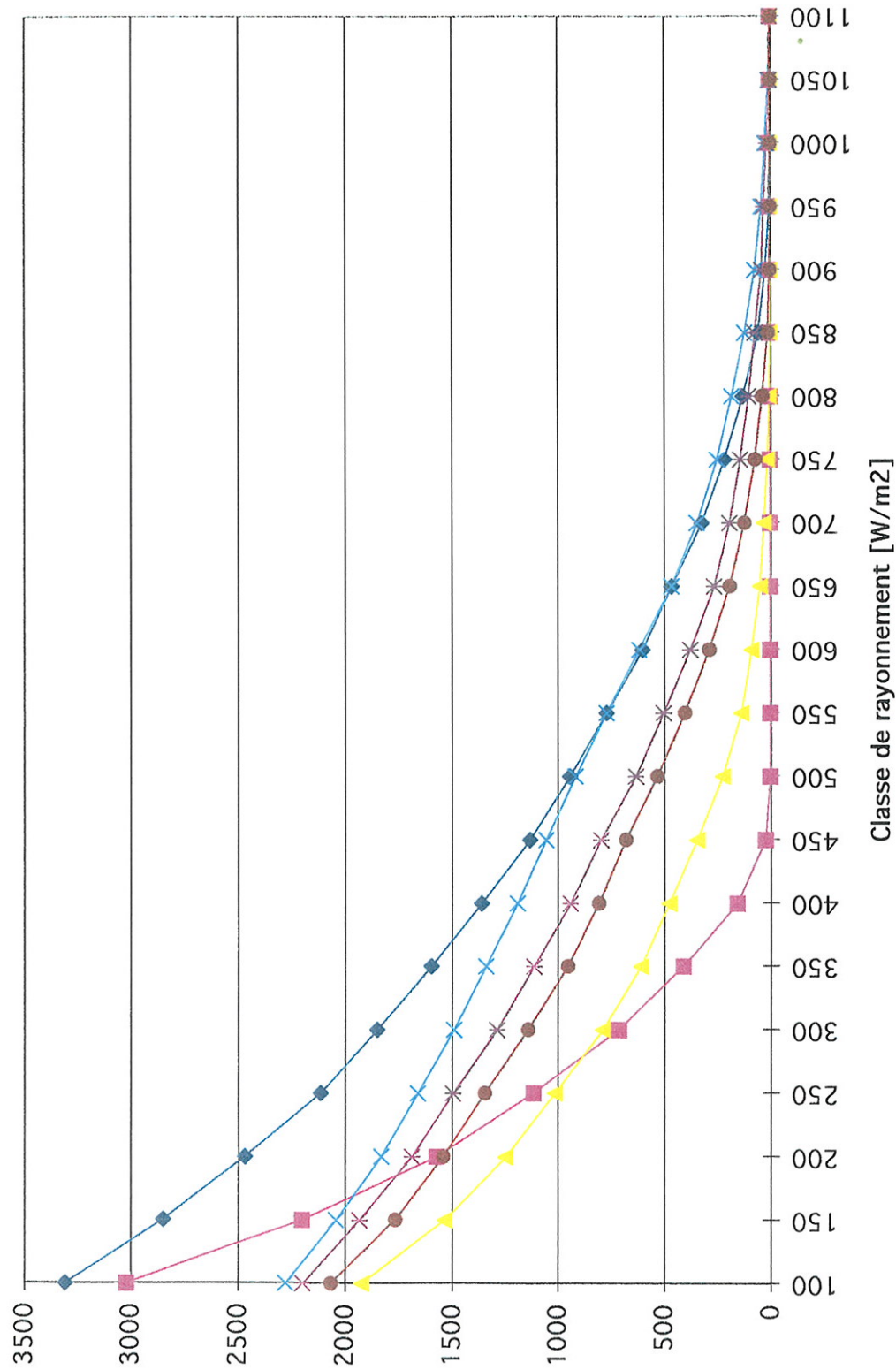


035

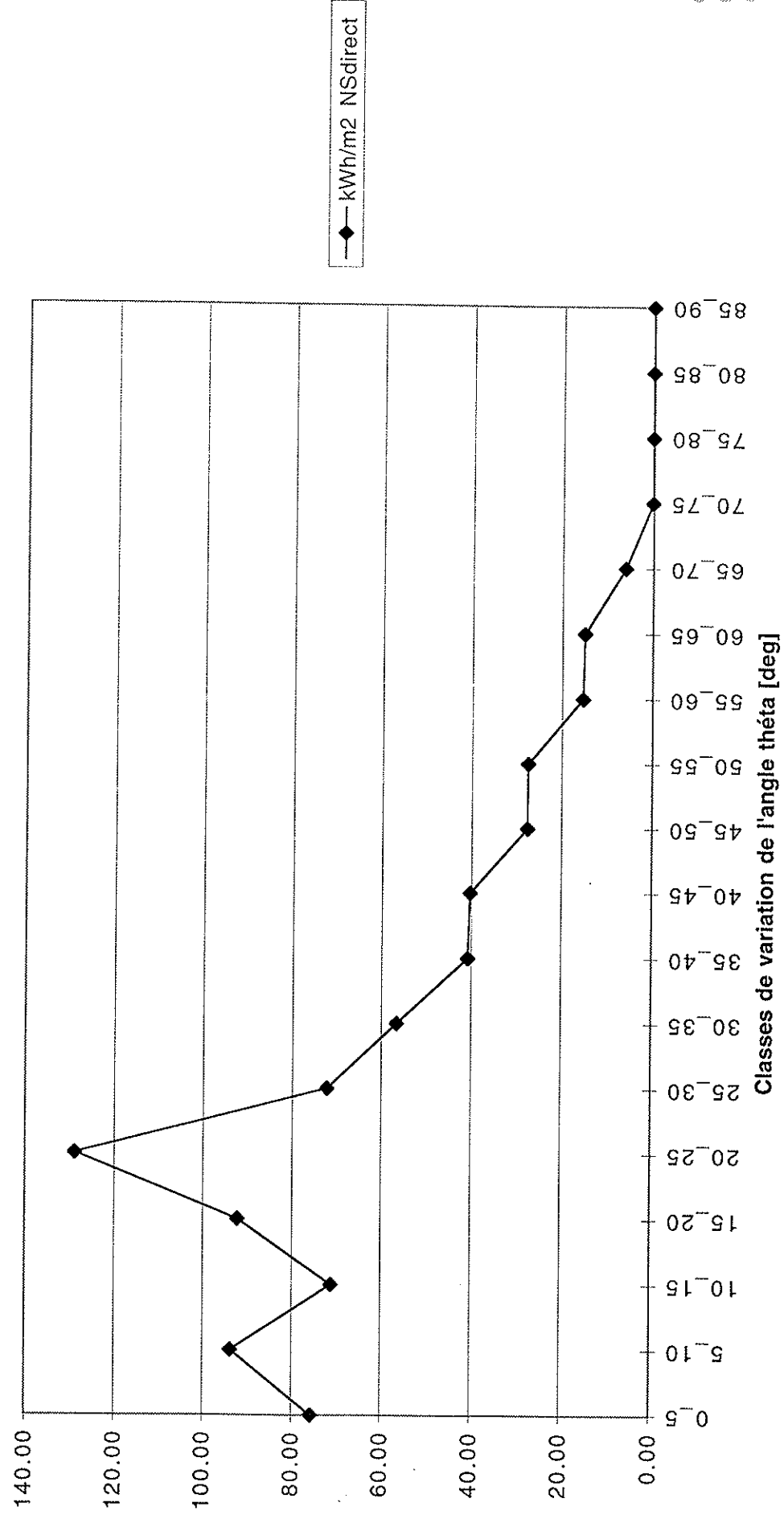
Courbes de distribution annuelles, sans IAM (MeteoNorm Pully)



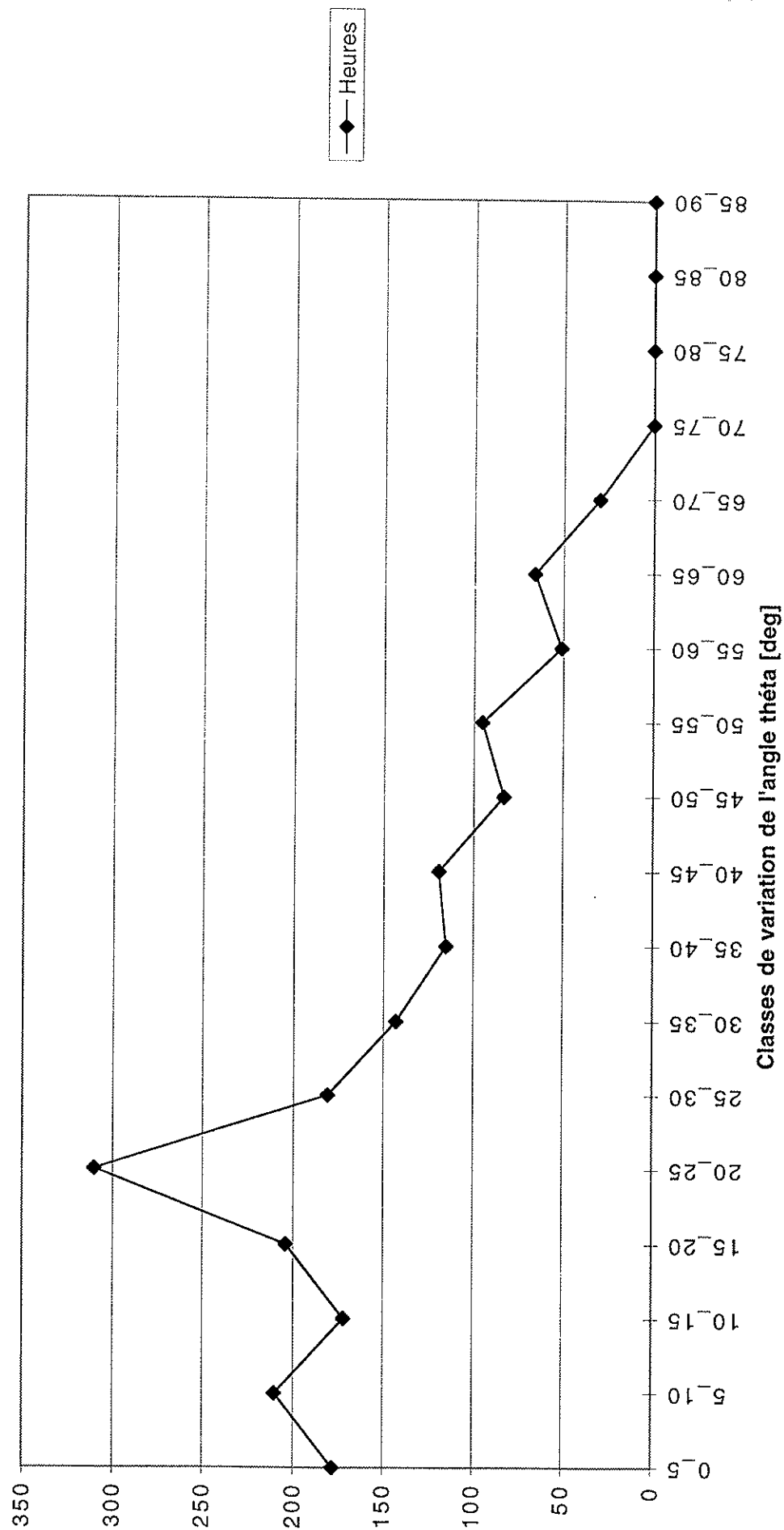
Courbes classées annuelles, sans IAM (MeteoNorm Pully)



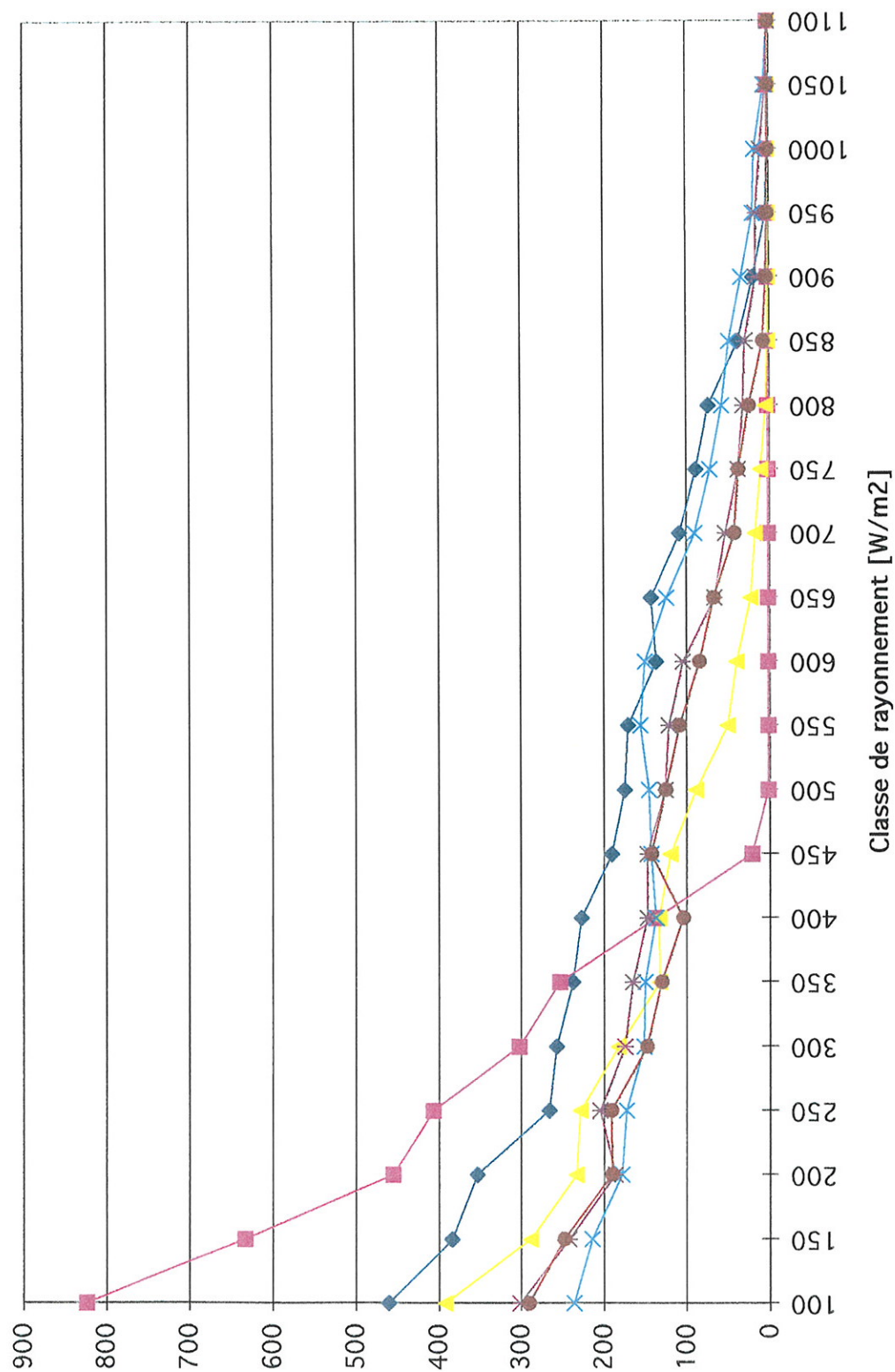
Répartition en kWh/m2 de l'angle θ pour un rayonnement NS directe compris entre 110 et 1100 W/m2, sans IAM



Répartition horaire de l'angle θ pour un rayonnement NSdirect compris entre 110 et 1100 W/m², sans IAM

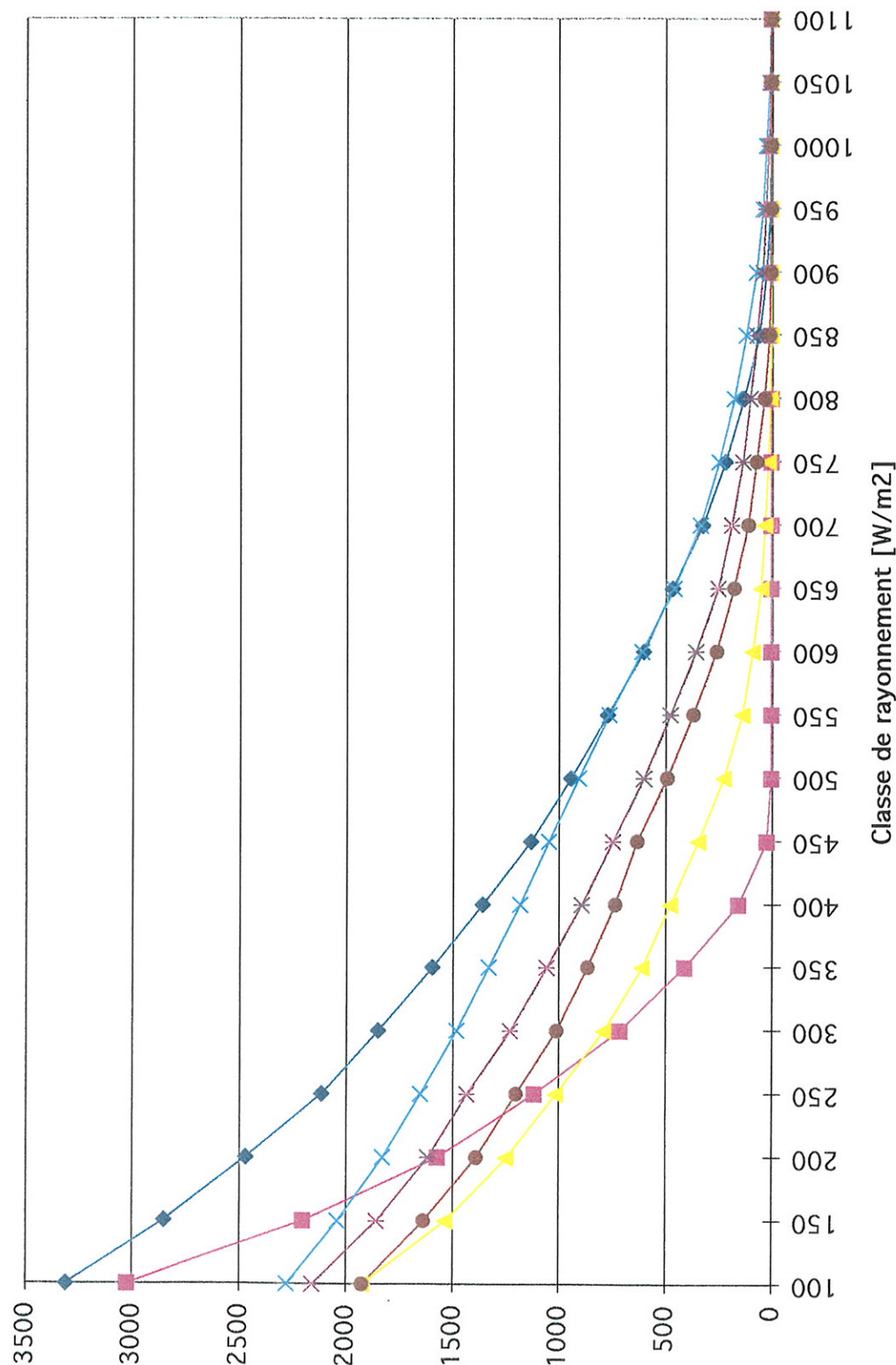


Courbes de distribution annuelles (MeteoNorm Pully)

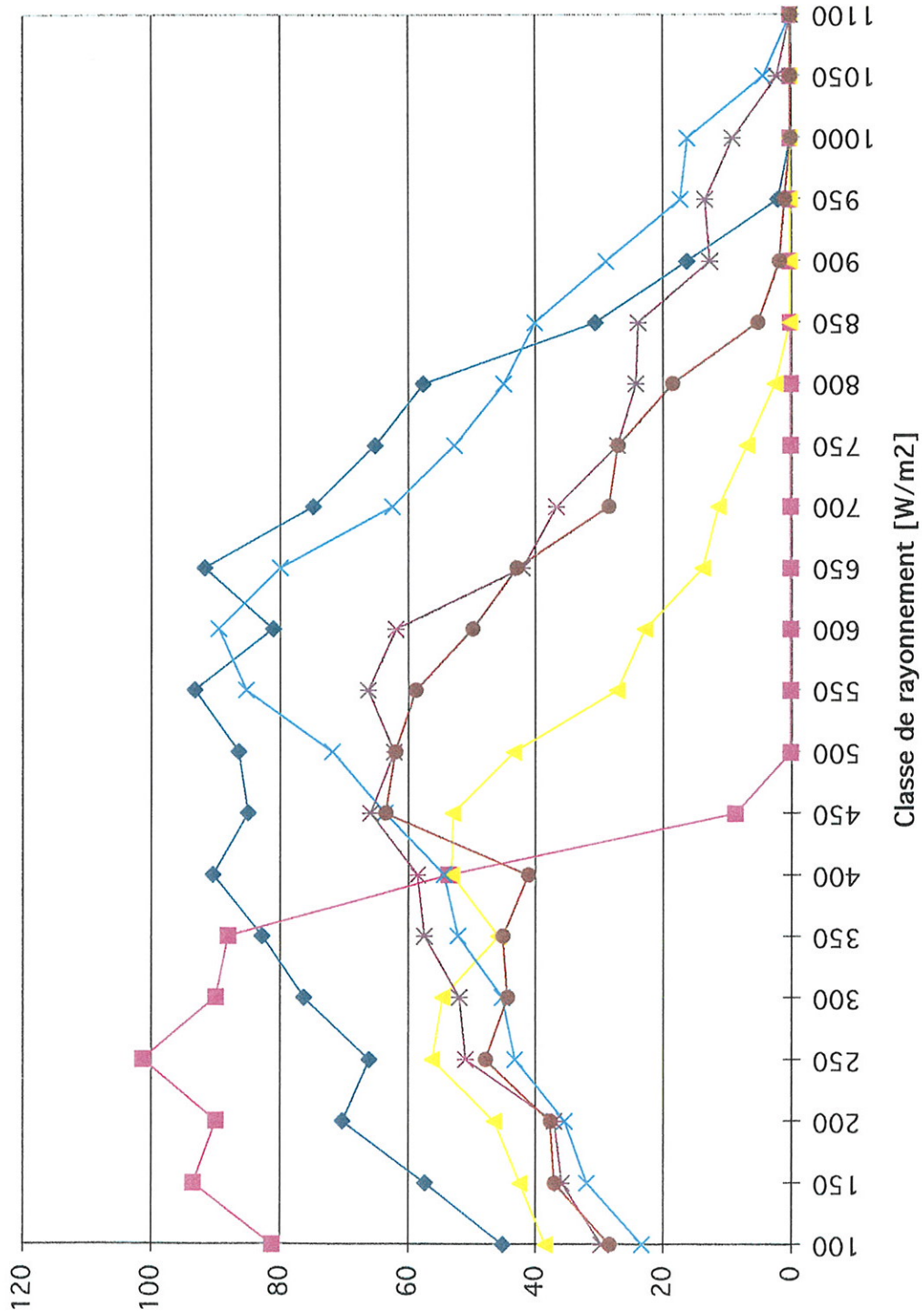


040

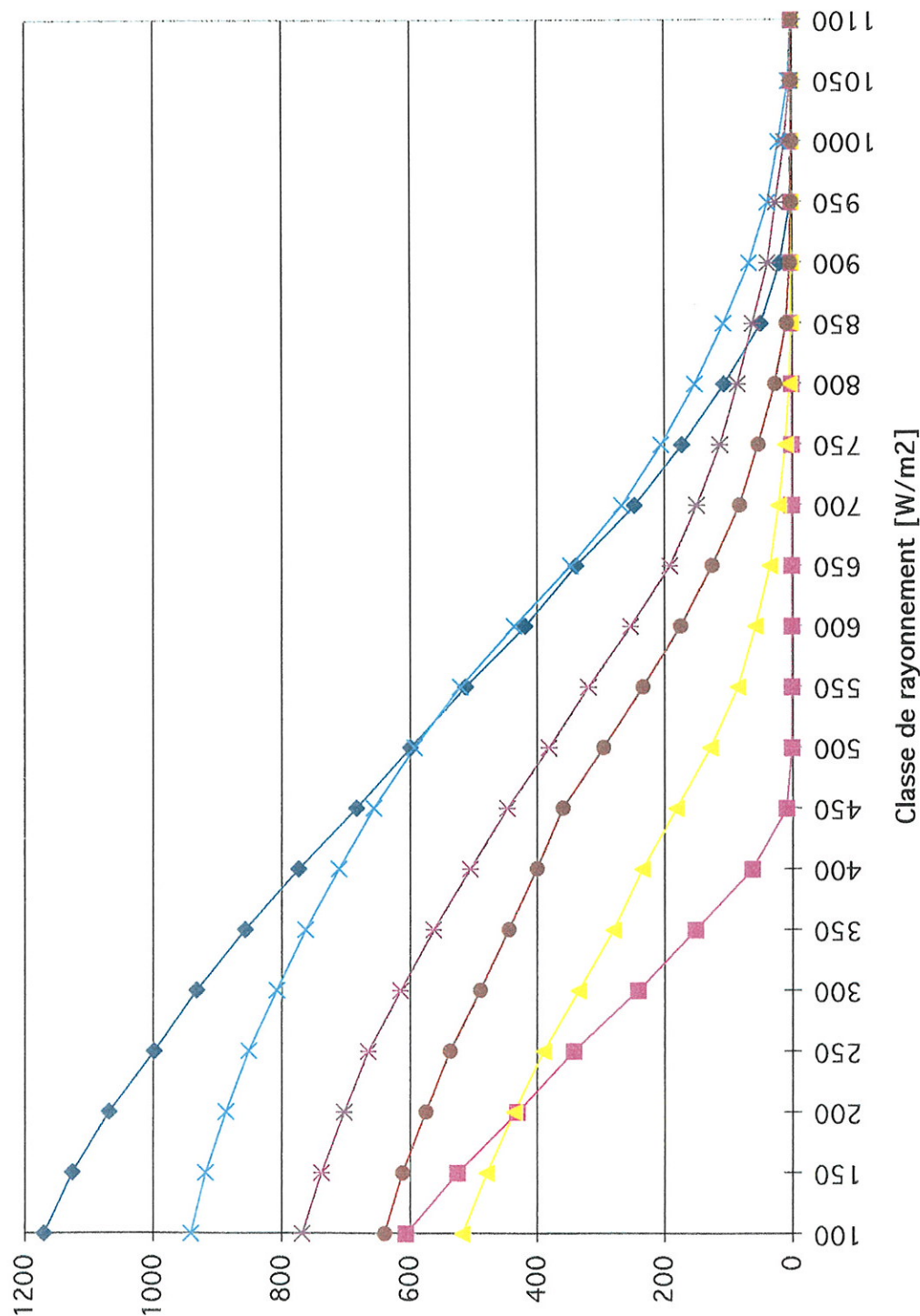
Courbes classées annuelles (MeteoNorm Pully)



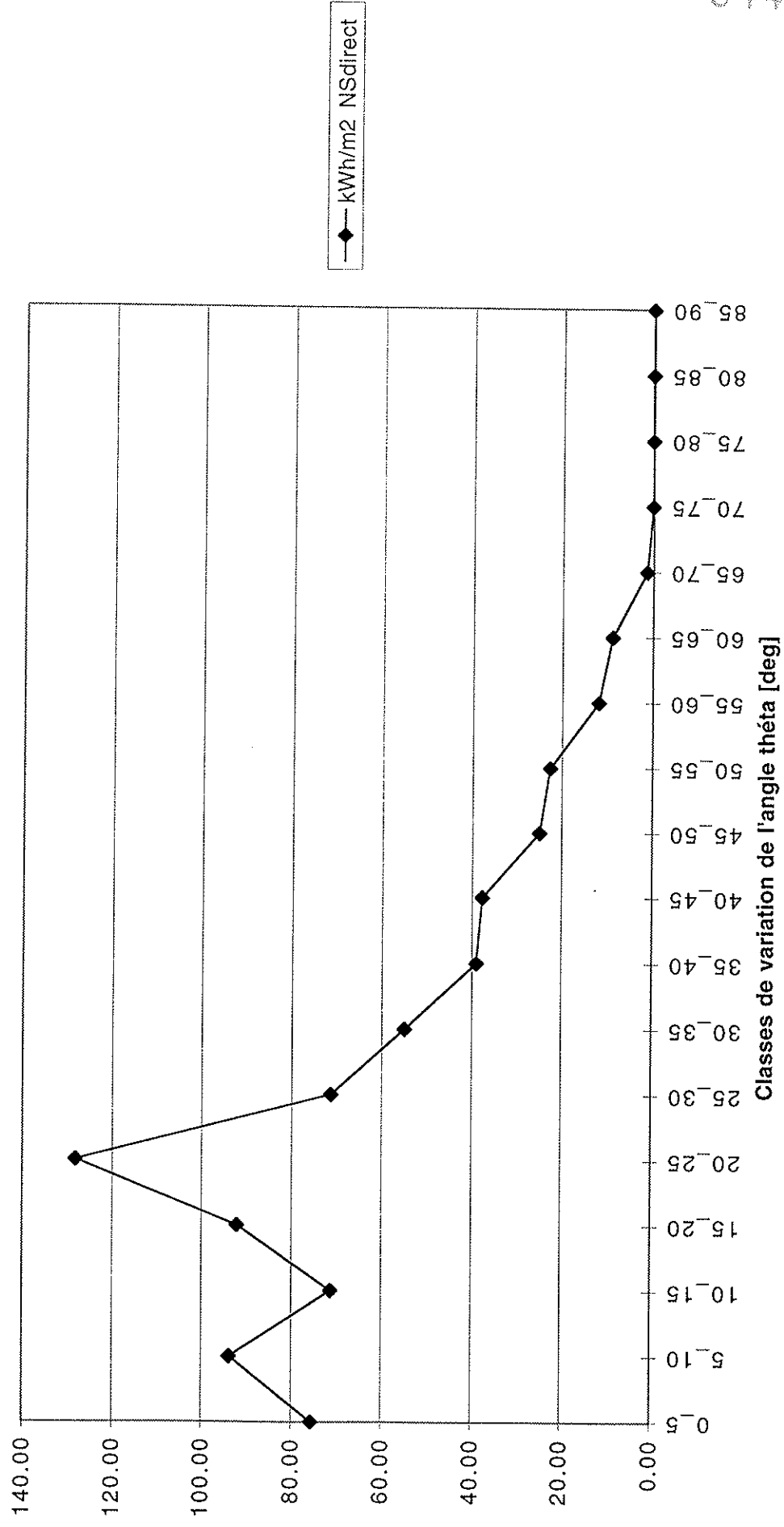
Courbes de distribution annuelles (MeteoNorm Pully)



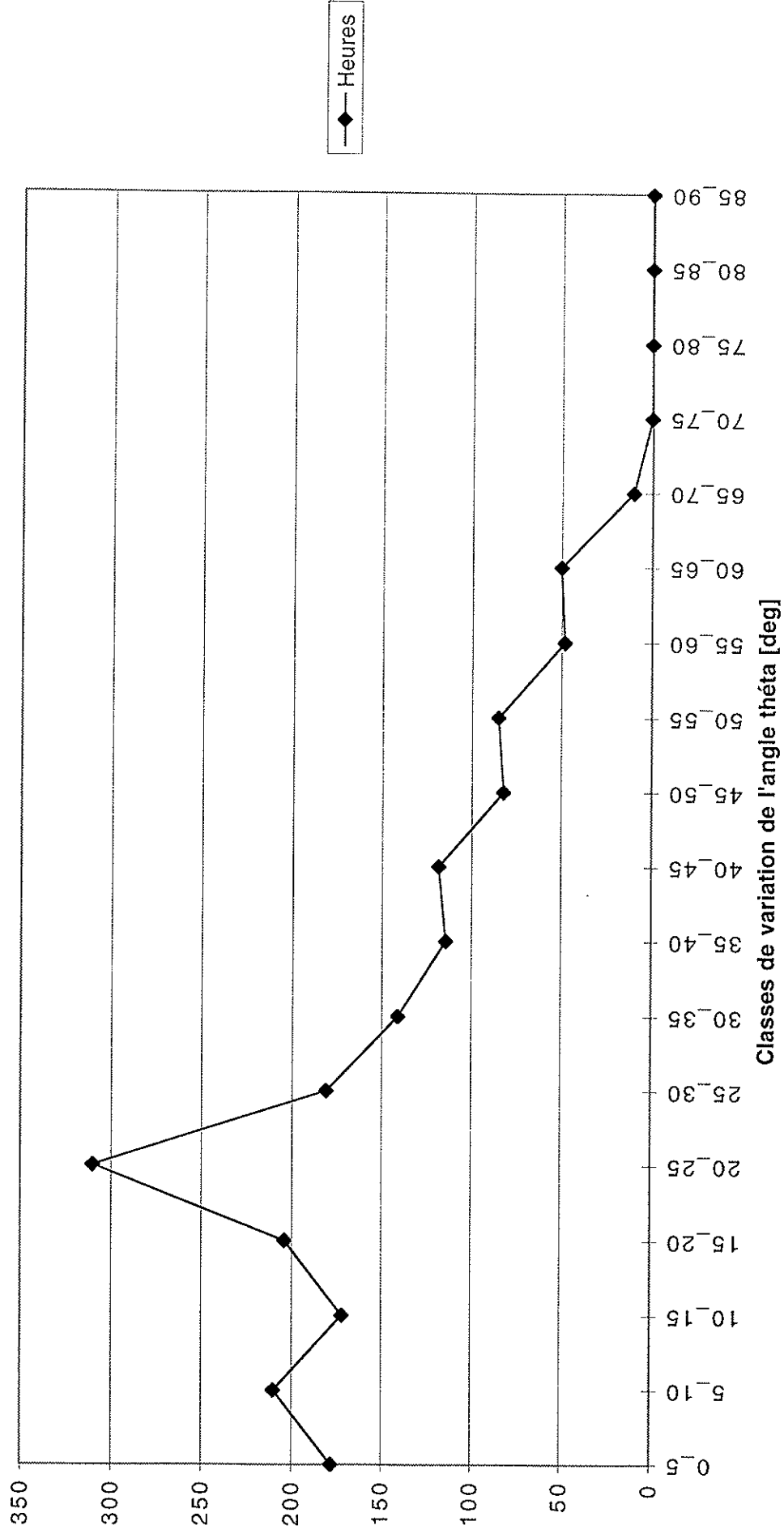
Courbes classées annuelles (MeteoNorm Pully)



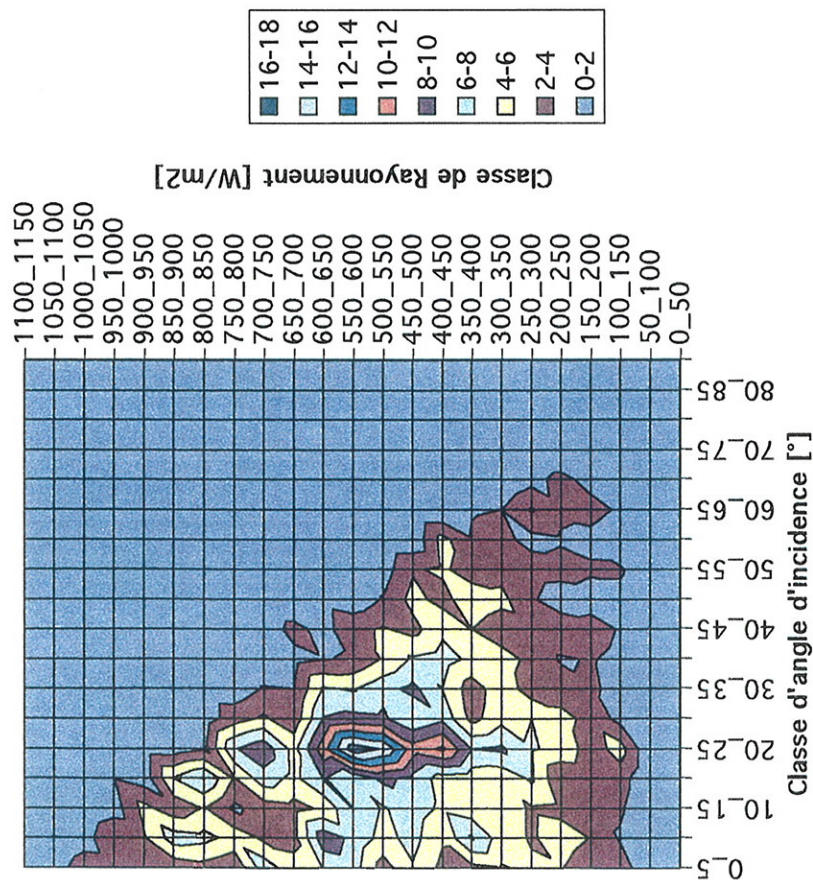
Répartition en kWh/m2 de l'angle θ pour un rayonnement NS direct compris entre 110 et 1100 W/m2



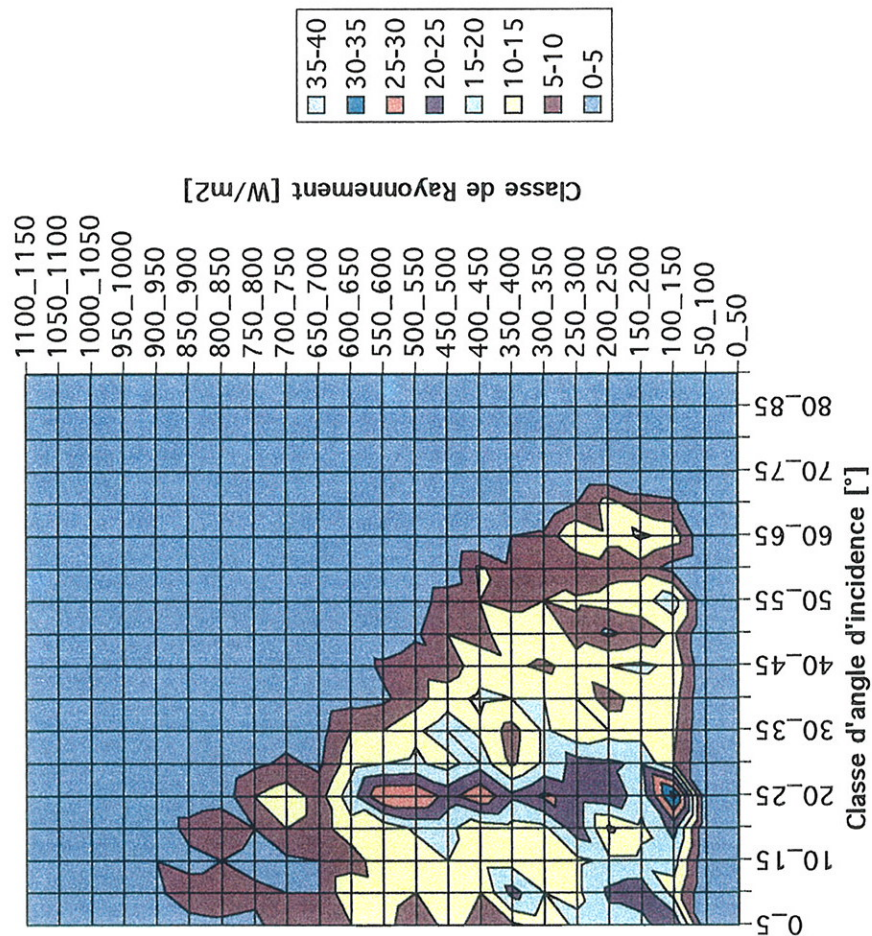
Répartition horaire de l'angle θ pour un rayonnement NSdirect compris entre 110 et 1100 W/m²



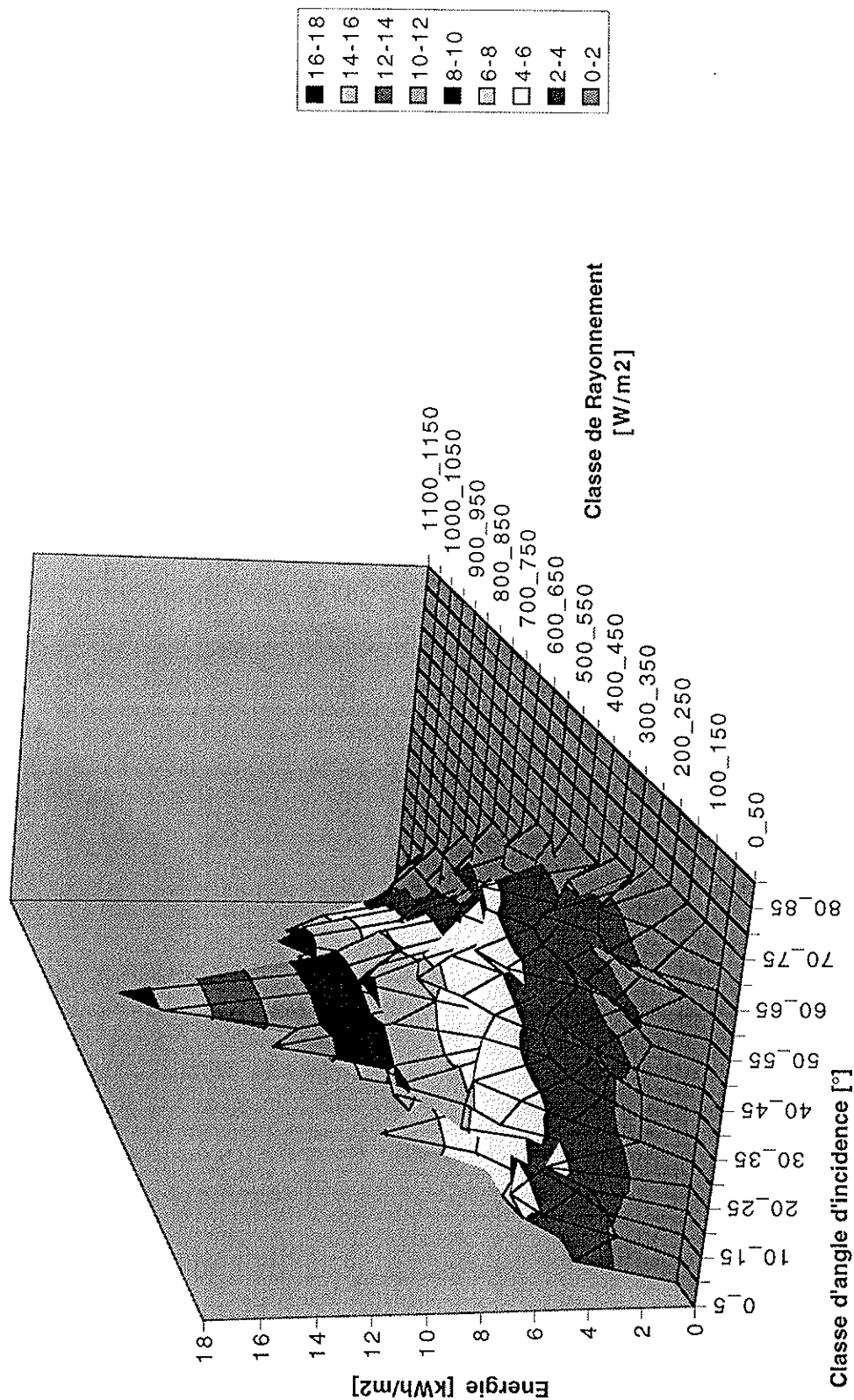
Distribution de l'énergie absorbable selon les
classes de rayonnement et d'angles
d'incidence [kWh/an]



Distribution du nombre d'heures selon les
classes de rayonnement et d'angles d'incidence
[h/an]



Distribution de l'énergie absorbable selon les classes de rayonnement et d'angles d'incidence [kWh/an]



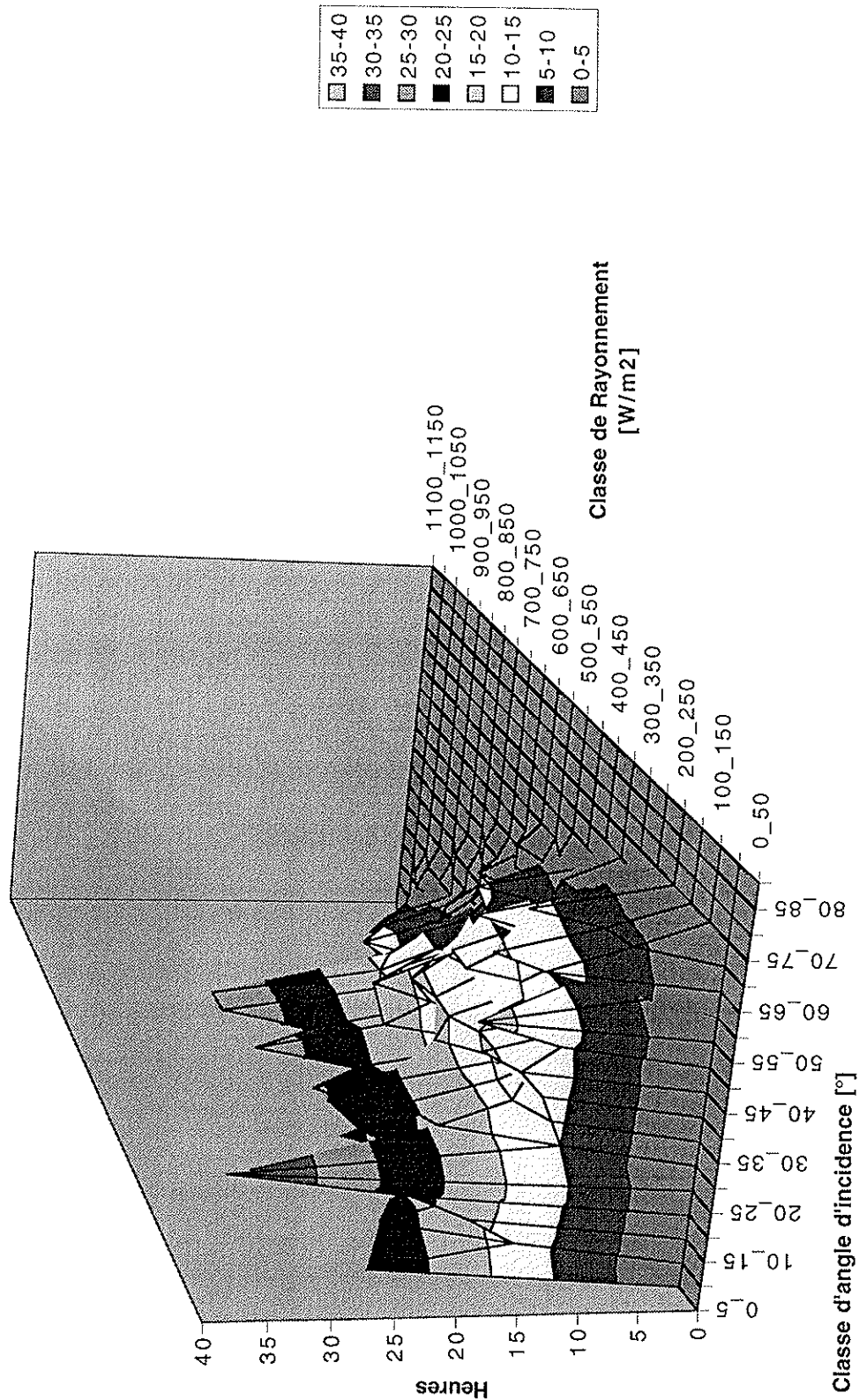
Distribution de l'énergie absorbable selon les classes de rayonnement et d'angles d'incidence [kWh/an]

Classe d'angle Energie [kWh/m2]

Classe de Rayonnement [W/m²]

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0 0_50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 50_100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 100_150	3.3	1.8	2.3	3	4.8	1.3	1.4	1.6	1.9	1.4	2.3	0.4	1.7	0.8	0	0	0	0
3 150_200	3.1	4	2.8	2.5	3	3.3	2.3	2.1	2.8	1.2	2.3	1.4	2.8	1.2	0	0	0	0
4 200_250	4.1	4.7	3.6	2.1	5.4	4.7	2.9	1.8	3.4	0.9	2.7	1.8	2.5	2.6	0	0	0	0
5 250_300	4.3	3.8	3.8	6.3	6.2	6	3	3.5	3.3	2.3	3	1.4	4.2	1.3	0	0	0	0
6 300_350	3.9	4.9	4.9	4.5	8.4	5.3	5.2	4.8	2.9	4.6	3.2	2.6	2	0	0	0	0	0
7 350_400	3.4	8.2	4.8	4.8	8	3.3	2.9	5.6	4	5.2	3	2.2	1.9	0	0	0	0	0
8 400_450	3.5	4.2	5.6	5.1	12	7.6	6	6.8	5.5	3.3	4.3	4.7	0	0	0	0	0	0
9 450_500	5.8	6.7	7.1	7.5	11	6.2	8.5	6.3	3.3	4.7	3.8	0.5	0	0	0	0	0	0
10 500_550	3.1	5.3	5.8	8.5	16	8.4	7.3	4.2	4.2	2.1	1	0.5	0	0	0	0	0	0
11 550_600	7	7.4	8	6.4	17	8.6	5.8	2.3	3.5	0.6	0.6	0	0	0	0	0	0	0
12 600_650	6.2	9.3	4.3	8.1	11	8.1	6.2	1.9	1.2	1.3	1.2	0	0	0	0	0	0	0
13 650_700	4.7	3.3	3.4	5.4	5.3	2.7	2	1.3	2.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14 700_750	7.2	3.6	2.9	7.2	9.4	4.3	2.1	0.7	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15 750_800	2.3	5.4	1.6	3.9	7.8	3.1	0.8	0.8	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16 800_850	3.3	6.6	4.2	8.1	1.6	0.8	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17 850_900	2.6	7	2.6	6	0.9	0.9	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18 900_950	3.7	3.8	4.6	0.9	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19 950_1000	2.9	4	1	1.9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20 1000_1050	3.1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21 1050_1100	1.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22 1100_1150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	79	95	73	93	130	75	58	44	40	28	27	15	15	6	0	0	0	0
																		778.34

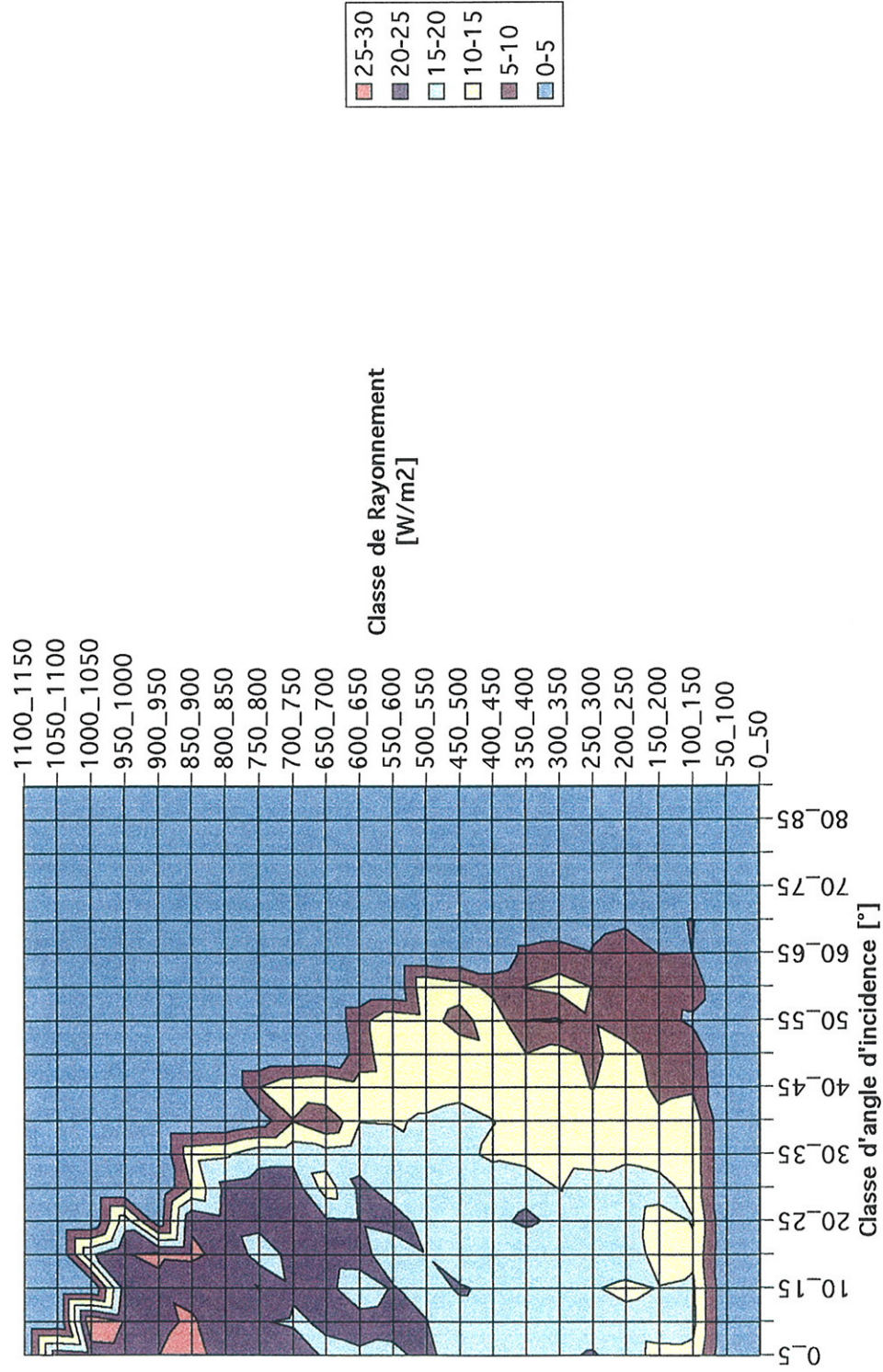
Distribution du nombre d'heures selon les classes de rayonnement et d'angles
d'incidence [h/an]



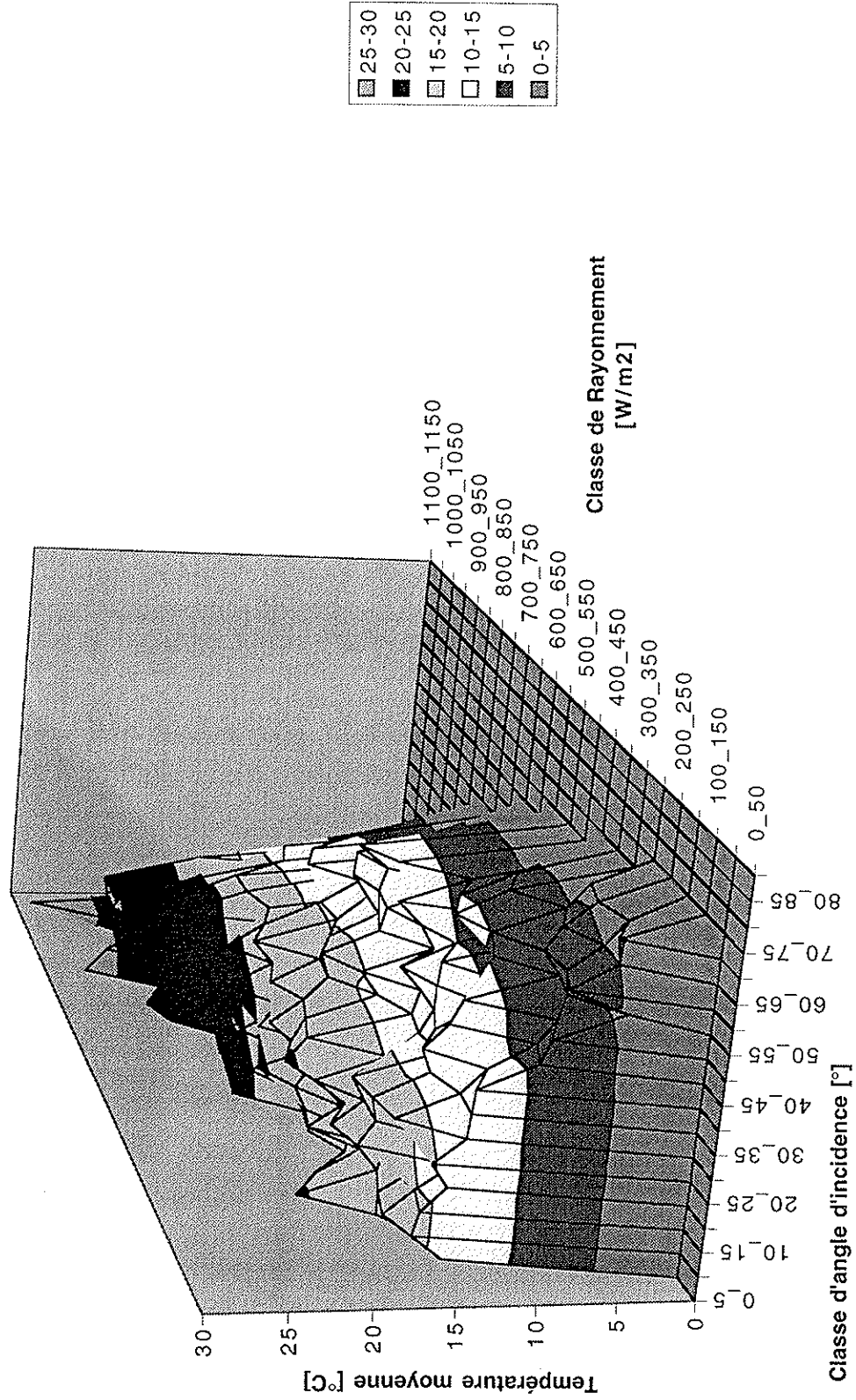
Distribution du nombre d'heures selon les classes de rayonnement et d'angles d'incidence [h/an]

Classe d'angle Heures	Classe de Rayonnement [W/m²]																	Total
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0 0_50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
1 50_100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
2 100_150	25	13	17	22	37	10	11	12	14	11	18	3	13	6	0	0	0	212.00
3 150_200	18	23	16	14	17	19	13	12	16	7	13	8	16	7	0	0	0	199.00
4 200_250	18	21	16	9	24	21	13	8	15	4	12	8	11	12	0	0	0	192.00
5 250_300	16	14	14	23	23	22	11	13	12	8	11	5	15	5	0	0	0	192.00
6 300_350	12	15	15	14	26	16	16	15	9	14	10	8	6	0	0	0	0	176.00
7 350_400	9	22	13	13	21	9	8	15	11	14	8	6	5	0	0	0	0	154.00
8 400_450	8	10	13	12	29	18	14	16	13	8	10	11	0	0	0	0	0	162.00
9 450_500	12	14	15	16	23	13	18	13	7	10	8	1	0	0	0	0	0	150.00
10 500_550	6	10	11	16	30	16	14	8	8	4	2	1	0	0	0	0	0	126.00
11 550_600	12	13	14	11	30	15	10	4	6	1	1	0	0	0	0	0	0	117.00
12 600_650	10	15	7	13	18	13	10	3	2	2	2	0	0	0	0	0	0	95.00
13 650_700	7	5	5	8	8	4	3	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	46.00
14 700_750	10	5	4	10	13	6	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	53.00
15 750_800	3	7	2	5	10	4	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	34.00
16 800_850	4	8	5	10	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31.00
17 850_900	3	8	3	7	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24.00
18 900_950	4	4	5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.00
19 950_1000	3	4	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11.00
20 1000_1050	3	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.00
21 1050_1100	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.00
22 1100_1150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
Total	184	212	176	207	314	188	147	123	119	83	95	51	66	30	0	0	0	1995.00

Température extérieure moyenne selon les classes de rayonnement et d'angles d'incidence



Température extérieure moyenne selon les classes de rayonnement et d'angles d'incidence



Résultats de simulation du capteur CEP3 avec paramétrisation de la distance focale

Description des 4 cas de référence

Pour les 4 cas de référence, avec paramétrisation en fonction de l'angle d'incidence:

Taux de concentration effectif

Largeur moyenne des taches

Déplacement longitudinal de la tache

Synthèse pour les 4 cas de référence:

Largeur moyenne de la tache

Nombre de lamelles

Largeur moyenne des lamelles

Surface matérielle

Surface globale

Déplacement longitudinal de la tache

Cas de simulation géométrique (CEP3, Monture Nord-Sud)

Cas (*)	Taux de concentration géométrique nominal	Largeur nominale de la tâche focale mm	Largeur active apparente m
Cas 1	25	5.5	1.375
Cas 2	25	7.5	1.875
Cas 3	35	5.5	1.925
Cas 4	35	7.5	2.629

(*) pour l'identification au niveau des figures, voir en bas de page à droite

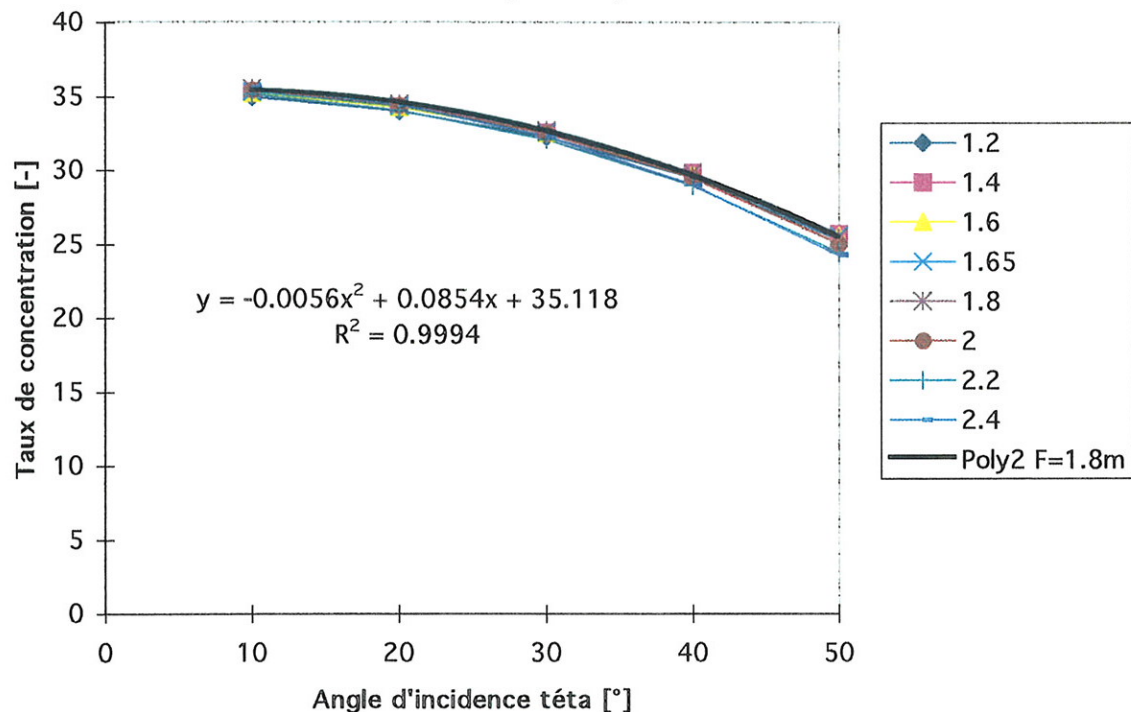
Taux de concentration effectif en fonction de l'angle d'incidence θ , pour différentes distances focales. (CAS 4)

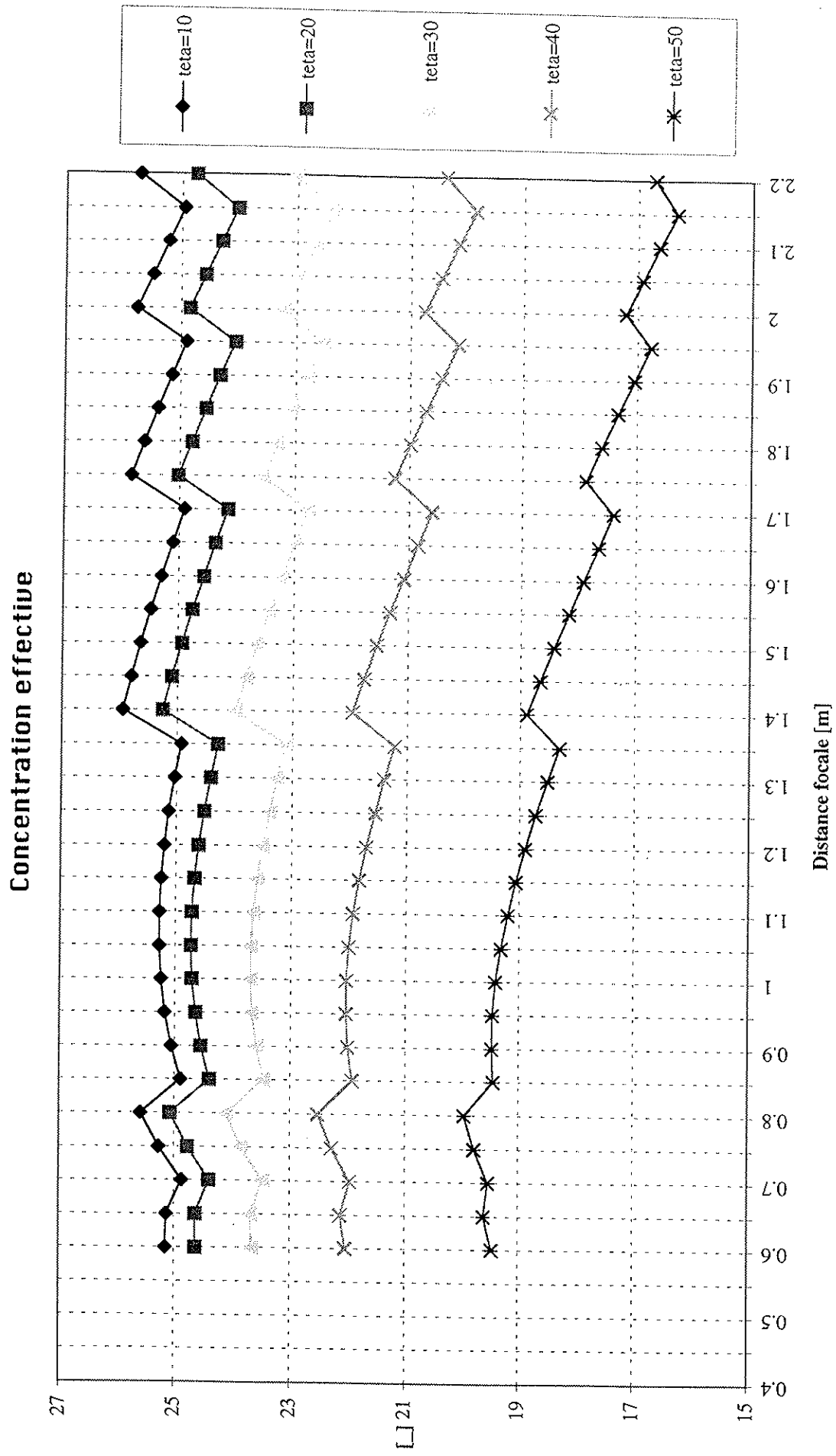
Angle d'incidence θ [°]

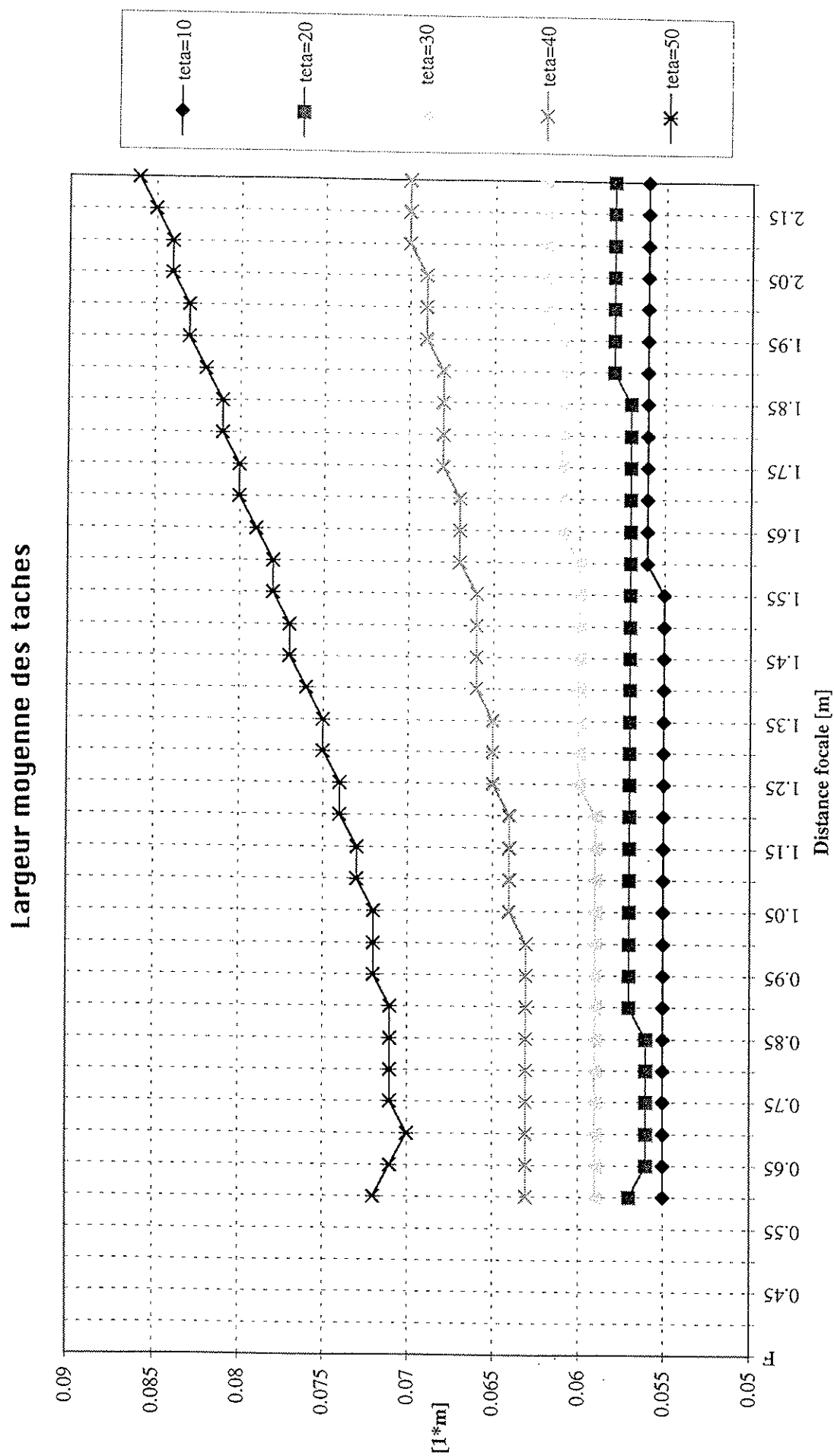
Taux de concentration [-]

	$\theta = 10$	$\theta = 20$	$\theta = 30$	$\theta = 40$	$\theta = 50$
Distance focale (F)	10	20	30	40	50
1.2	34.95	34	32.26	29.47	25.26
1.4	35.19	34.26	32.56	29.82	25.66
1.6	35.19	34.25	32.52	29.76	25.56
1.65	35.3	34.34	32.6	29.8	25.56
1.8	35.48	34.48	32.67	29.78	25.43
2	35.43	34.38	32.49	29.49	25.03
2.2	35.12	34.03	32.06	28.96	24.41
2.4	35.58	34.4	32.29	29.01	24.24

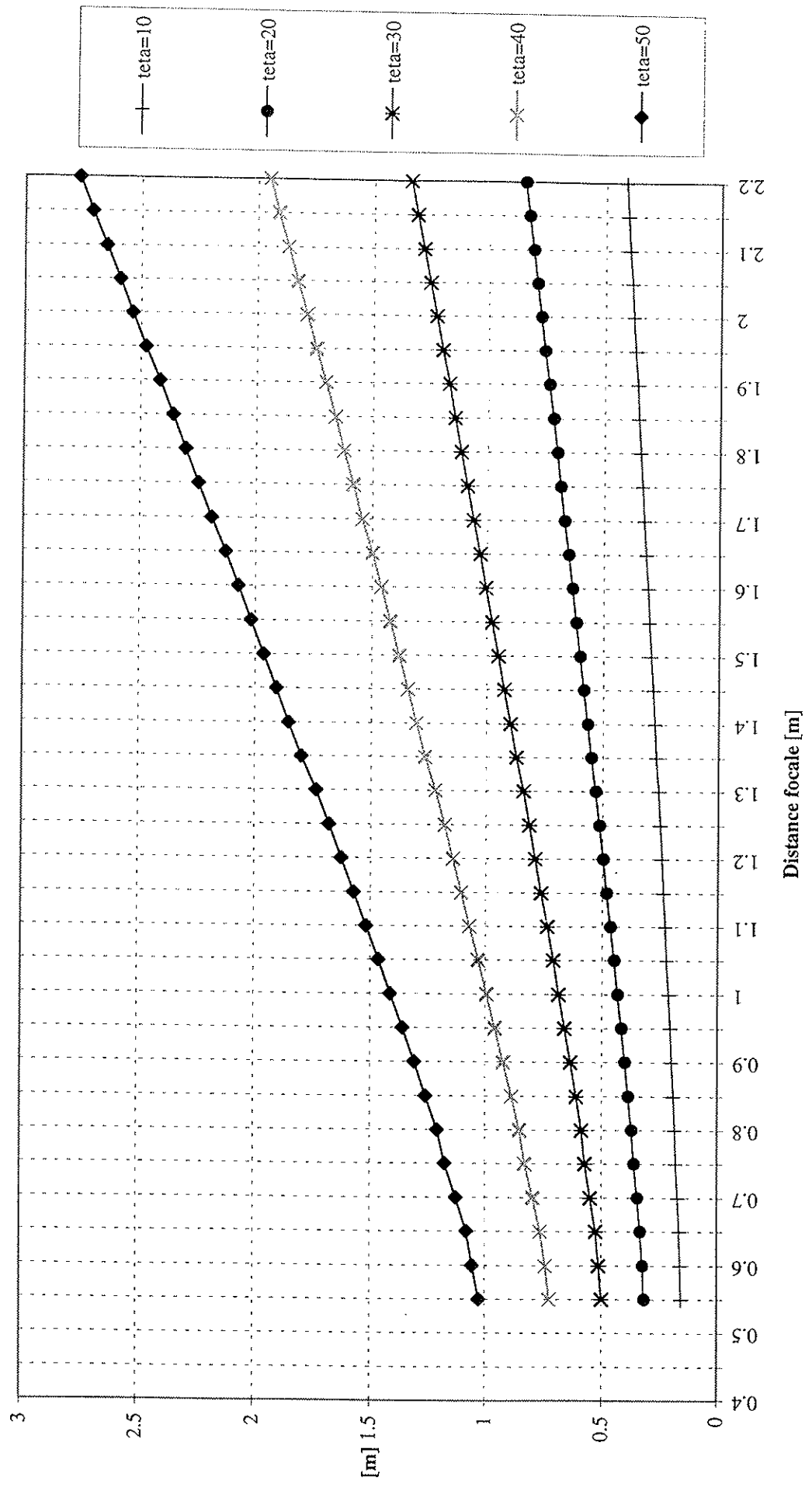
Taux de concentration effectif en fonction de l'angle d'incidence θ , pour différentes distances focales. (CAS 4)

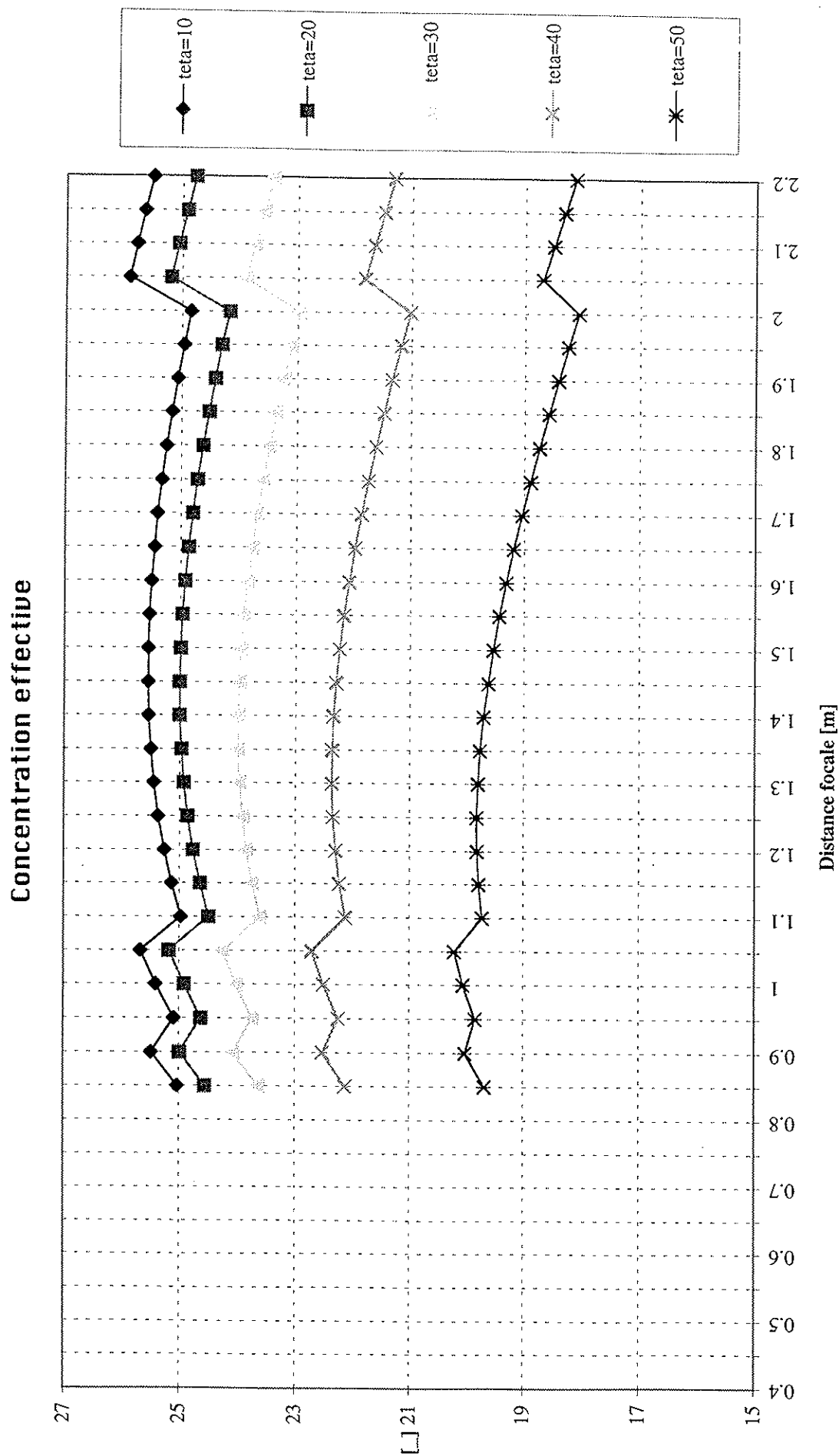






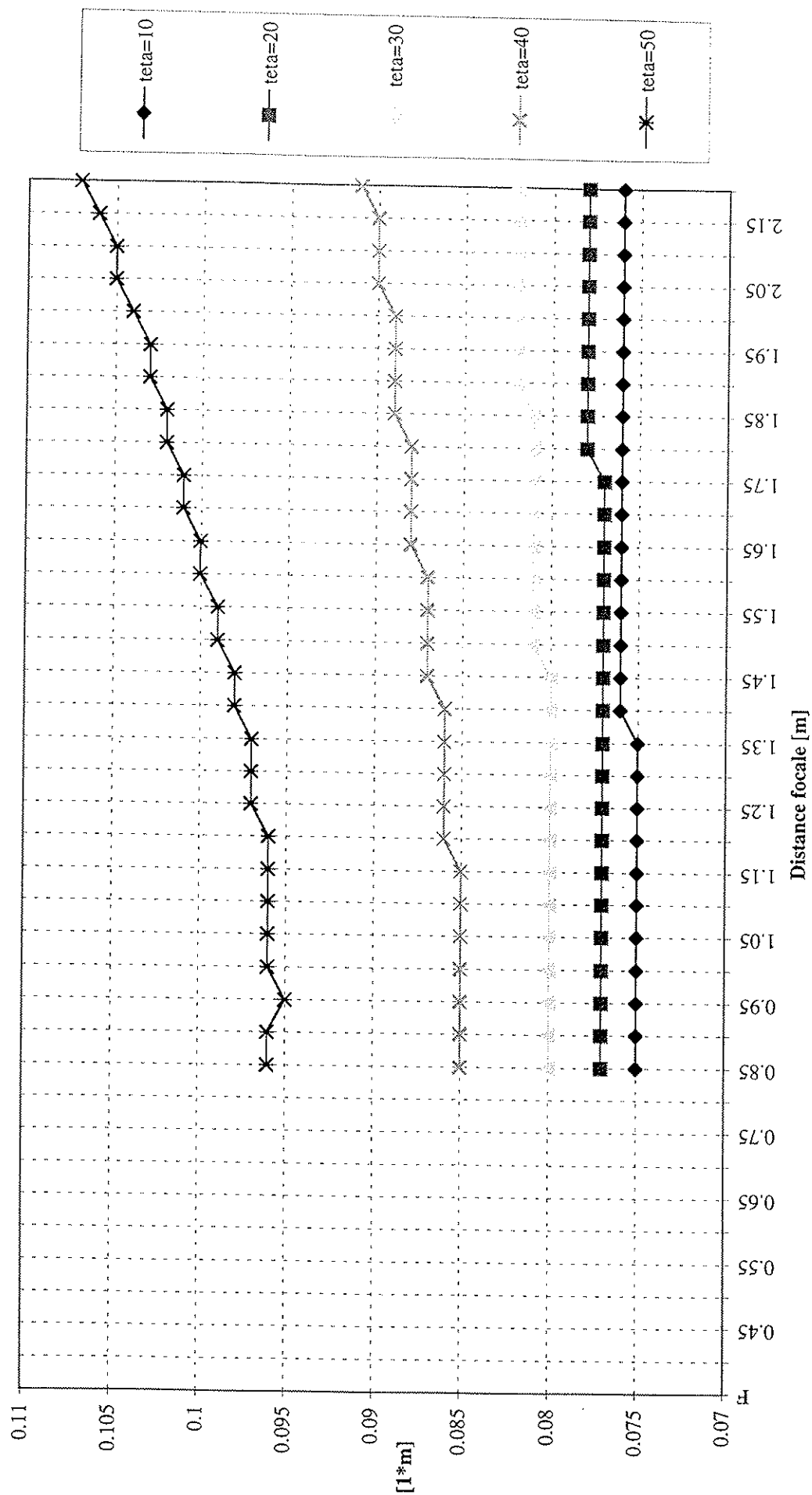
Erreur en y sur la tache focale



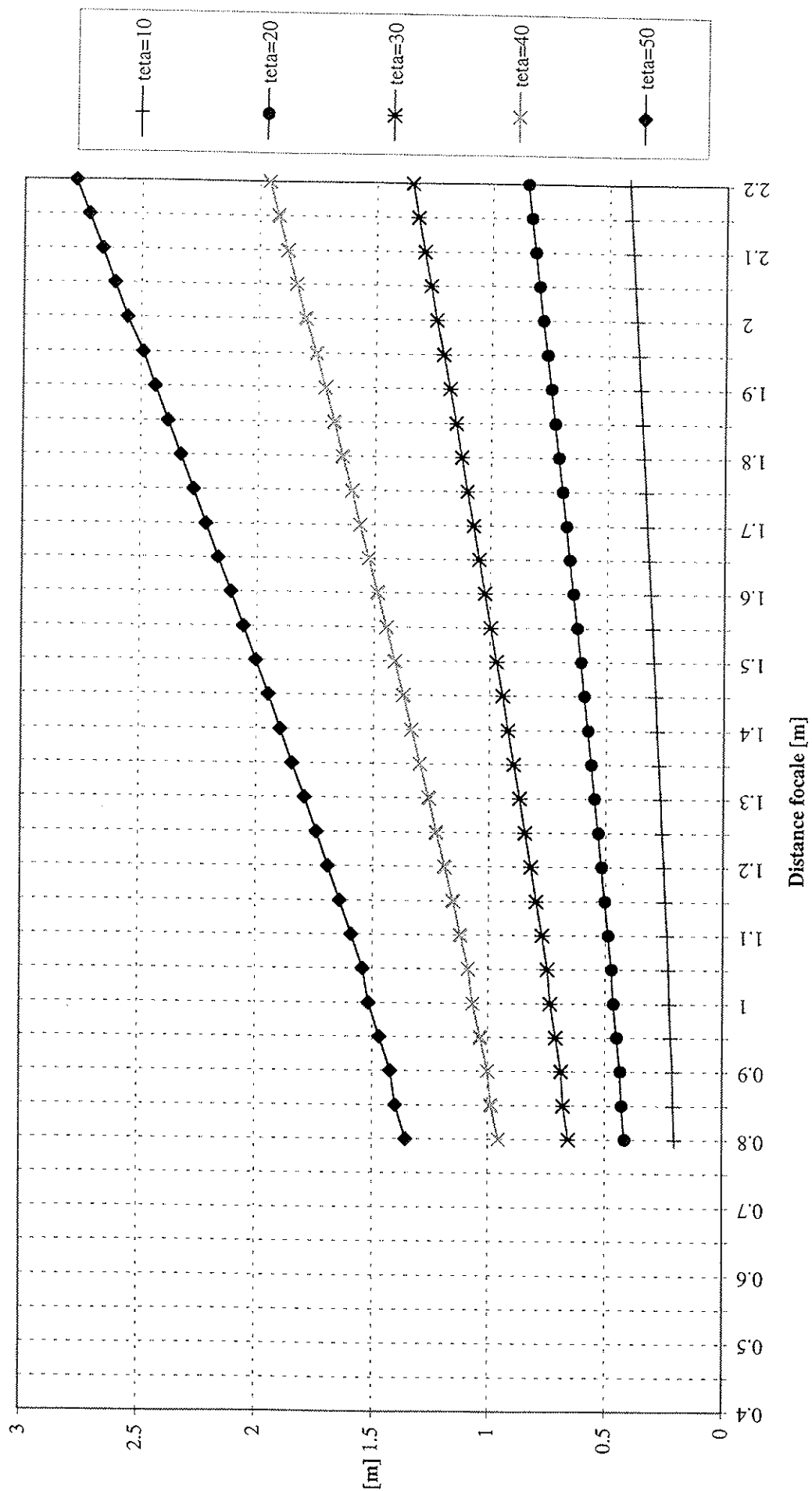


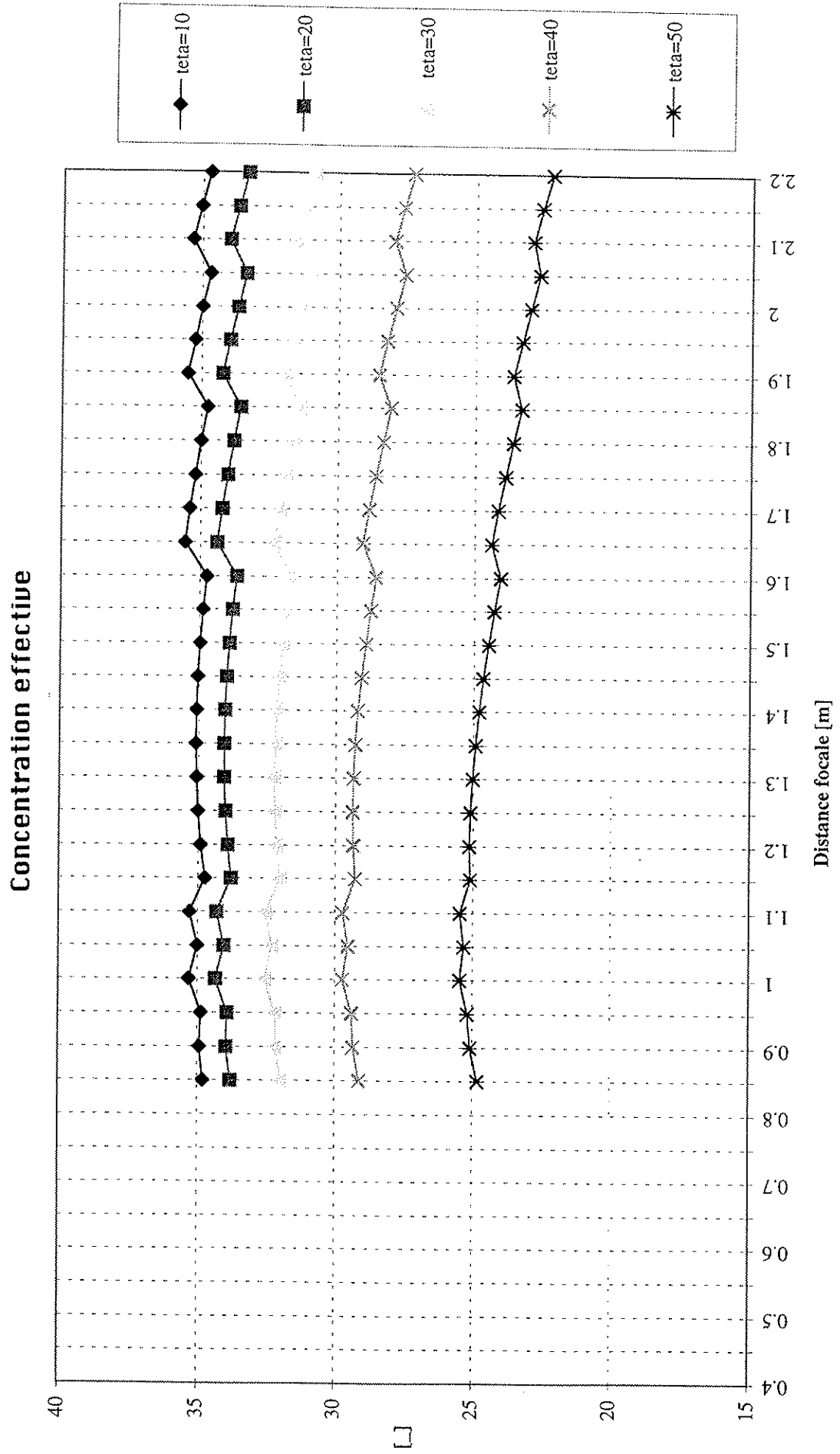
059

Largeur moyenne des taches

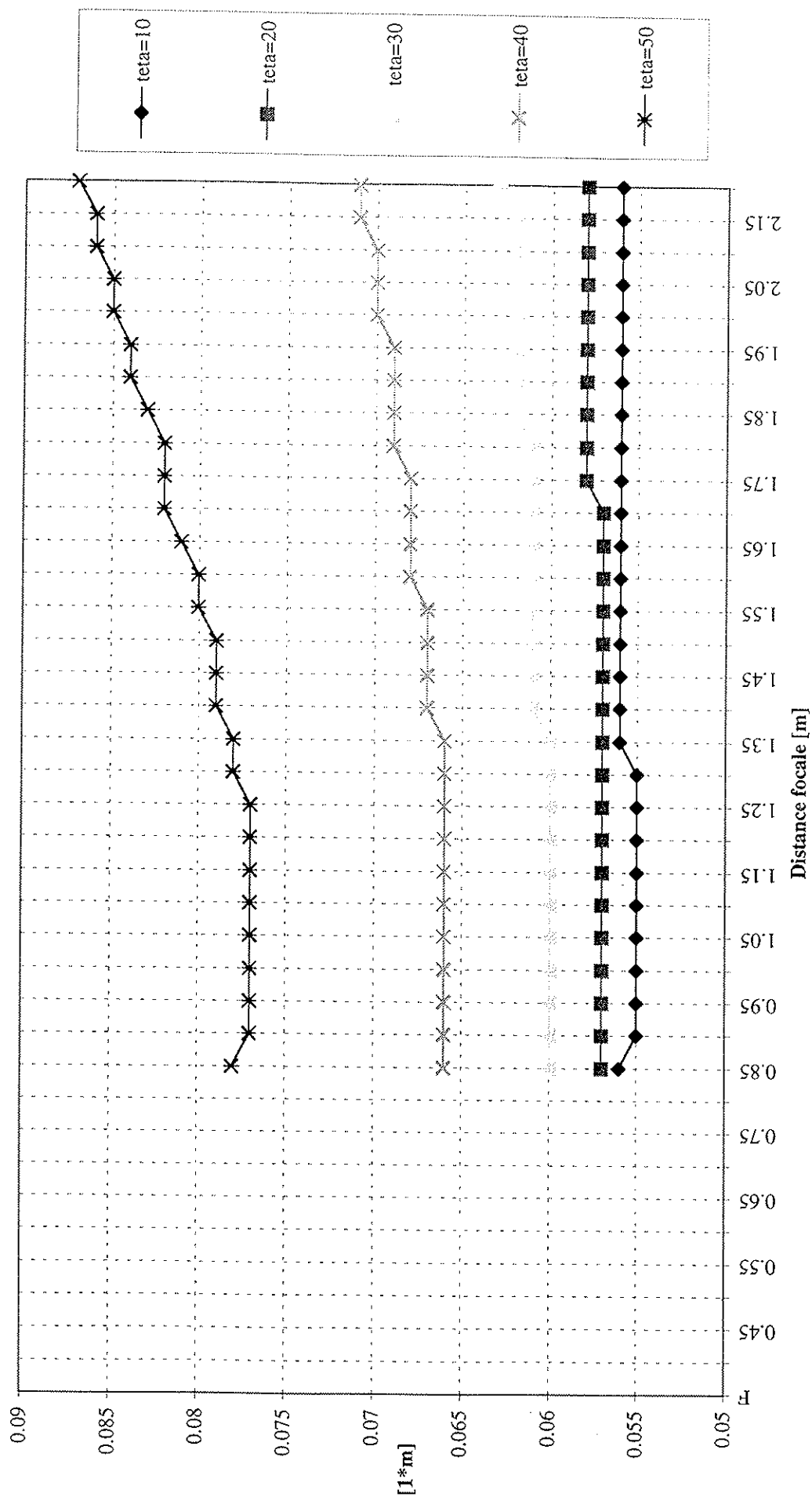


Erreur en y sur la tache focale

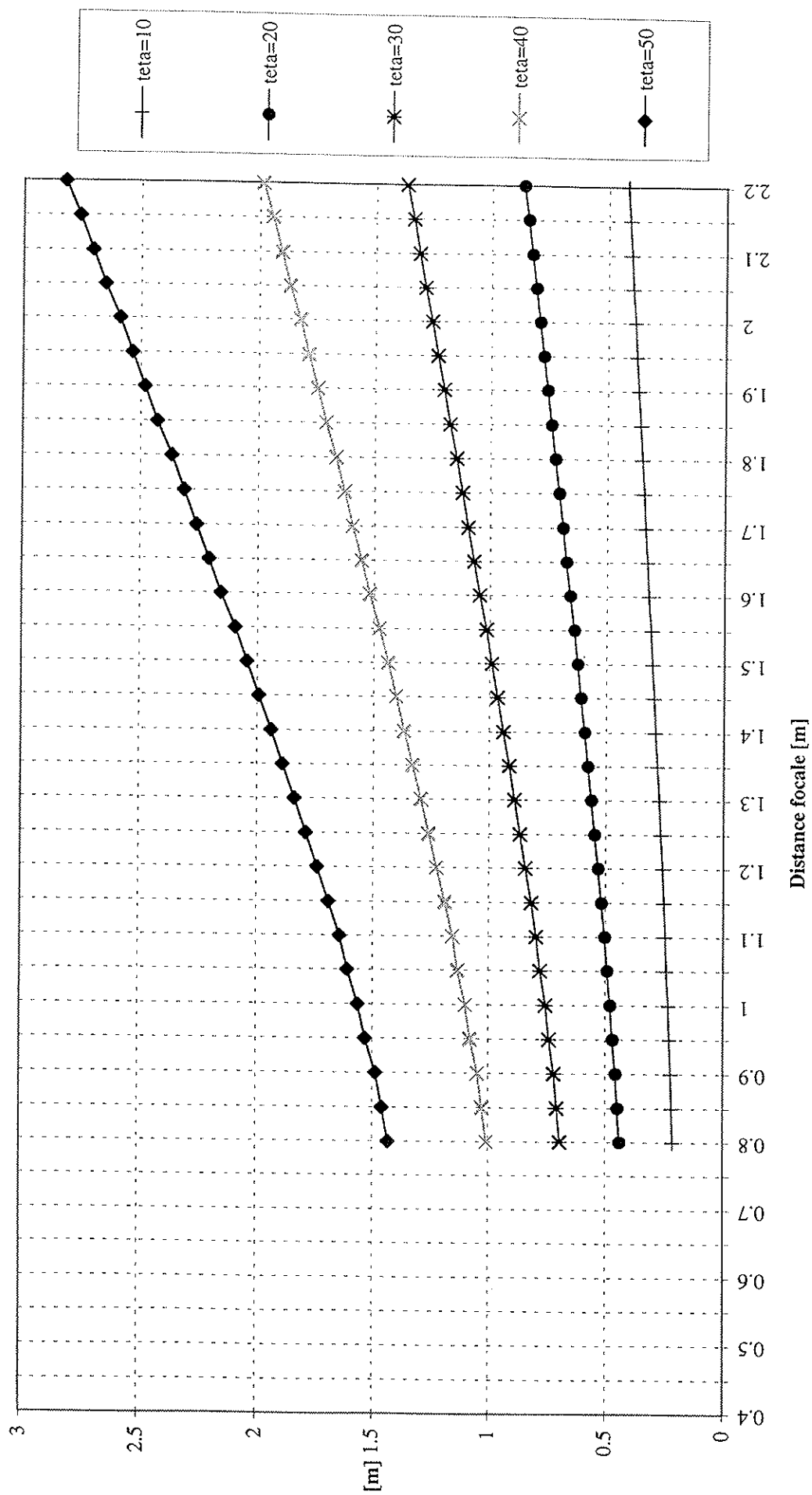


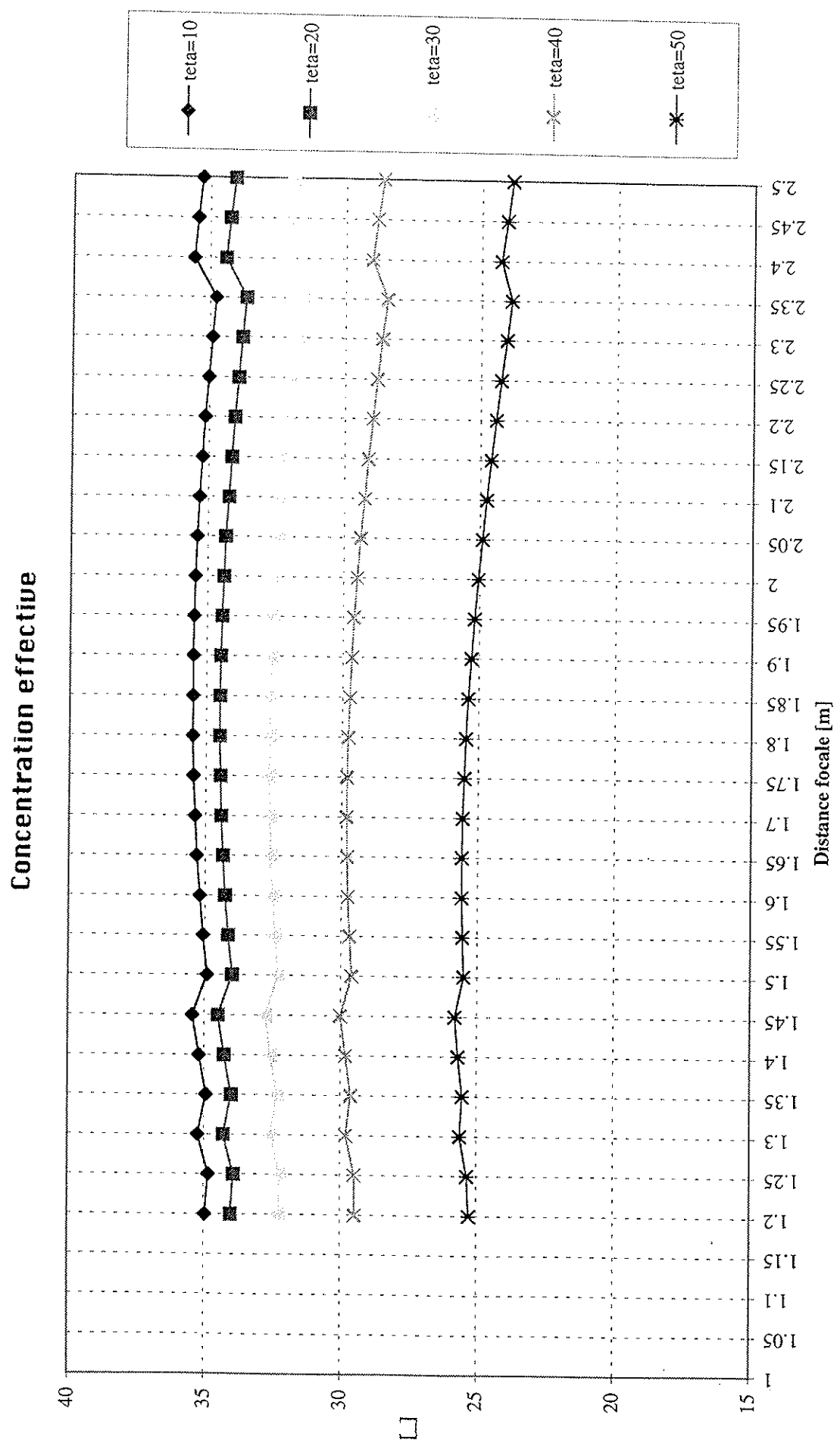


Largeur moyenne des taches

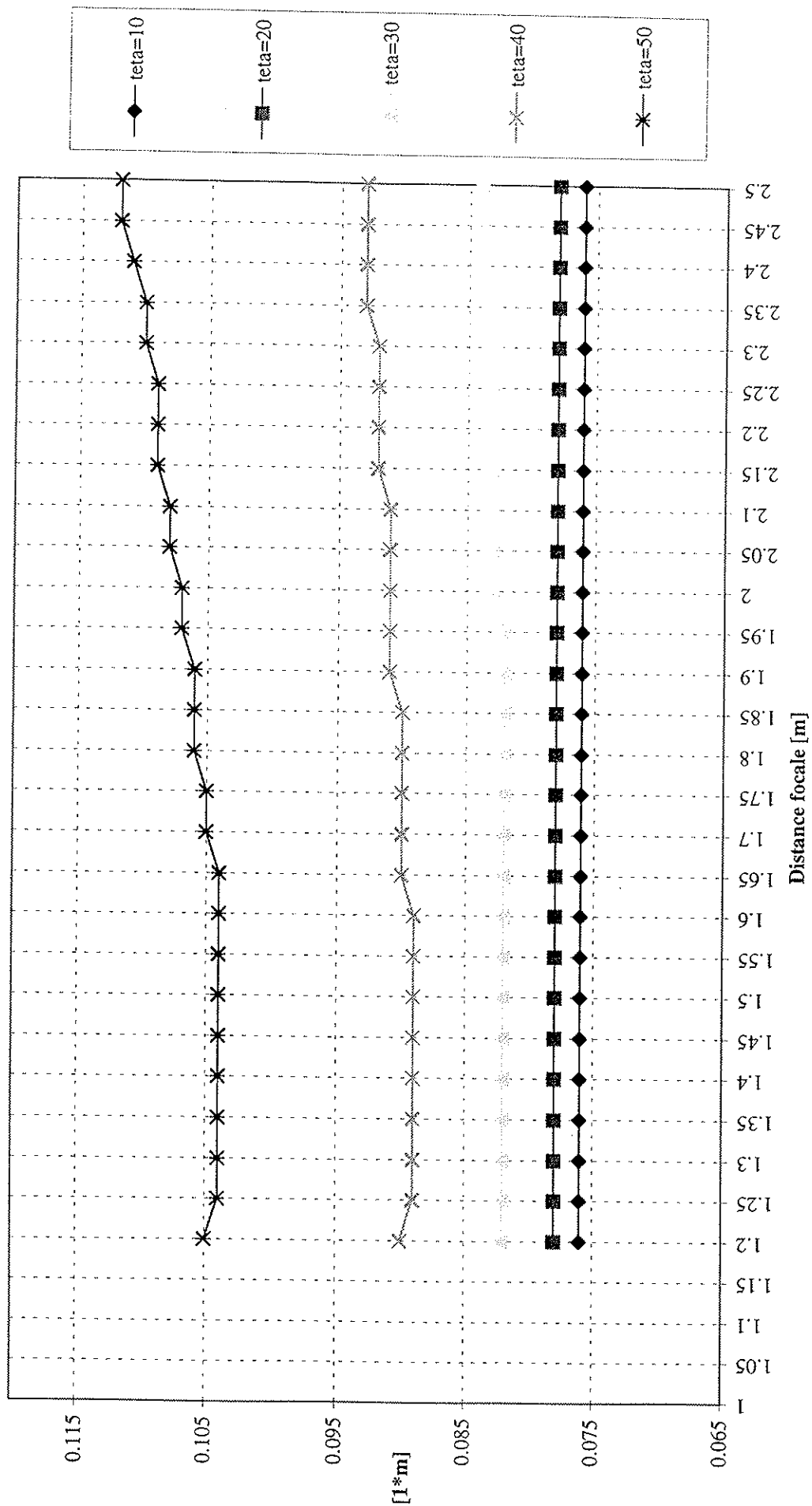


Erreur en y sur la tache focale

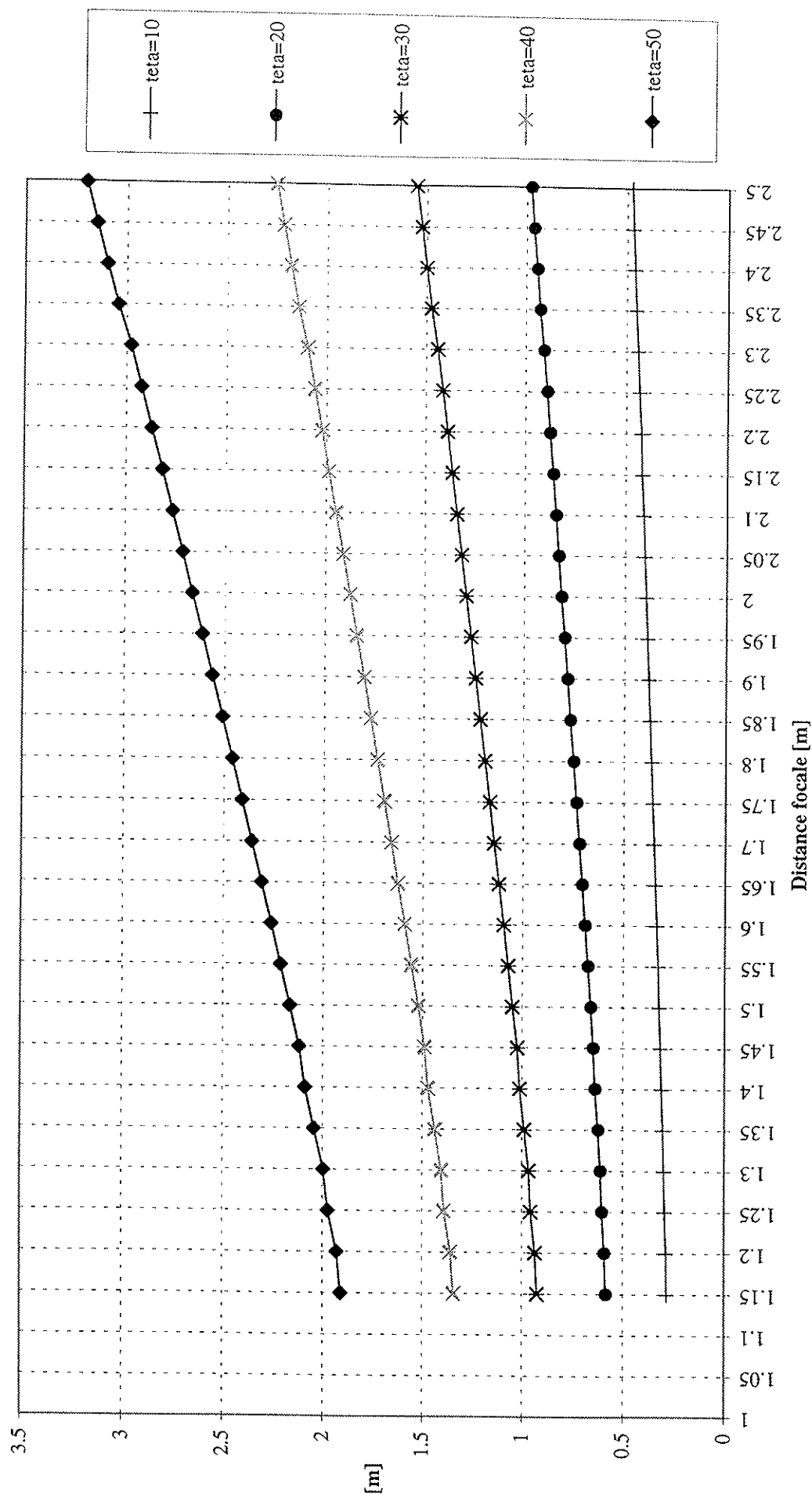




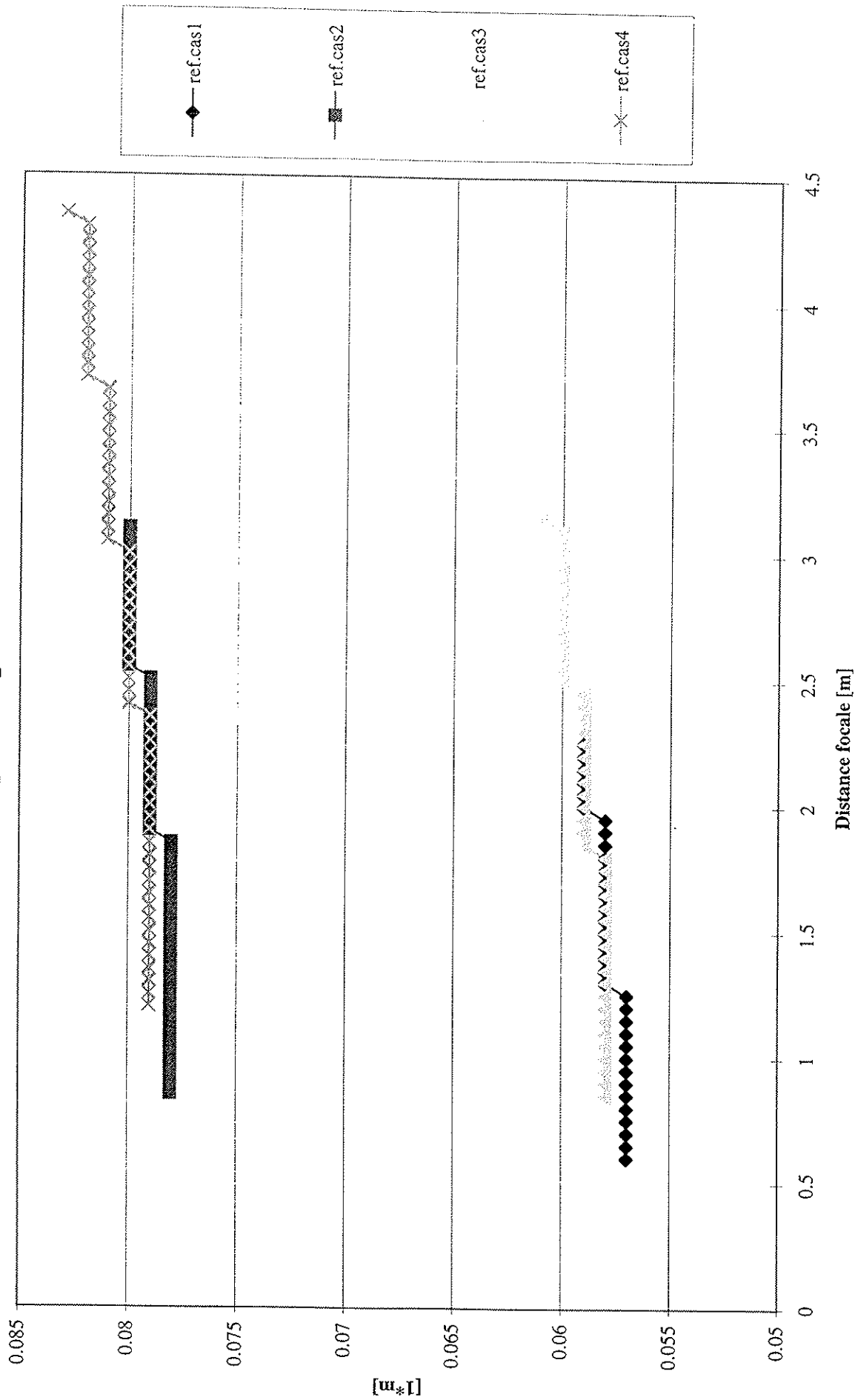
Largeur moyenne des taches



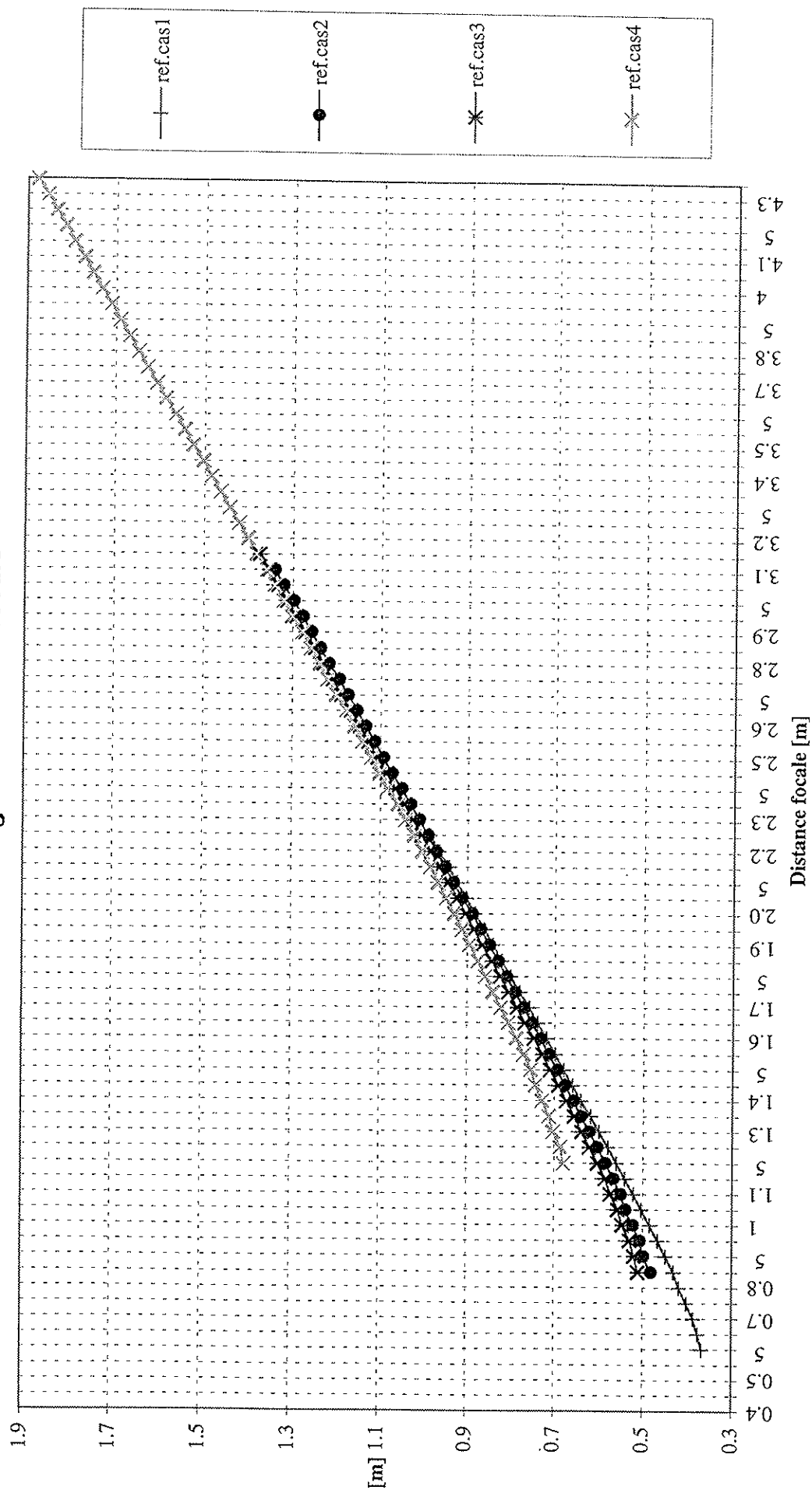
Erreur en y sur la tache focale



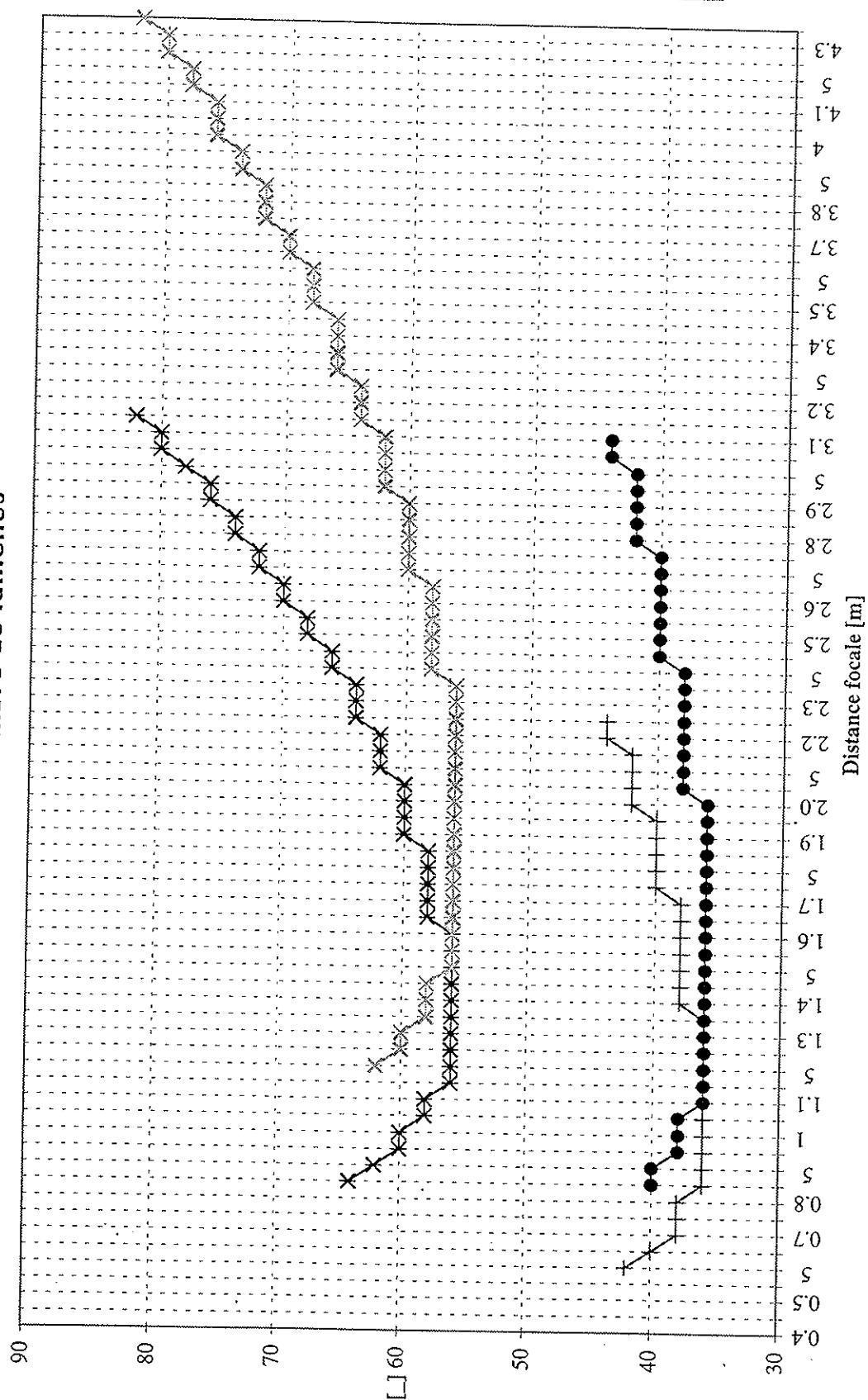
Largeur moy tache



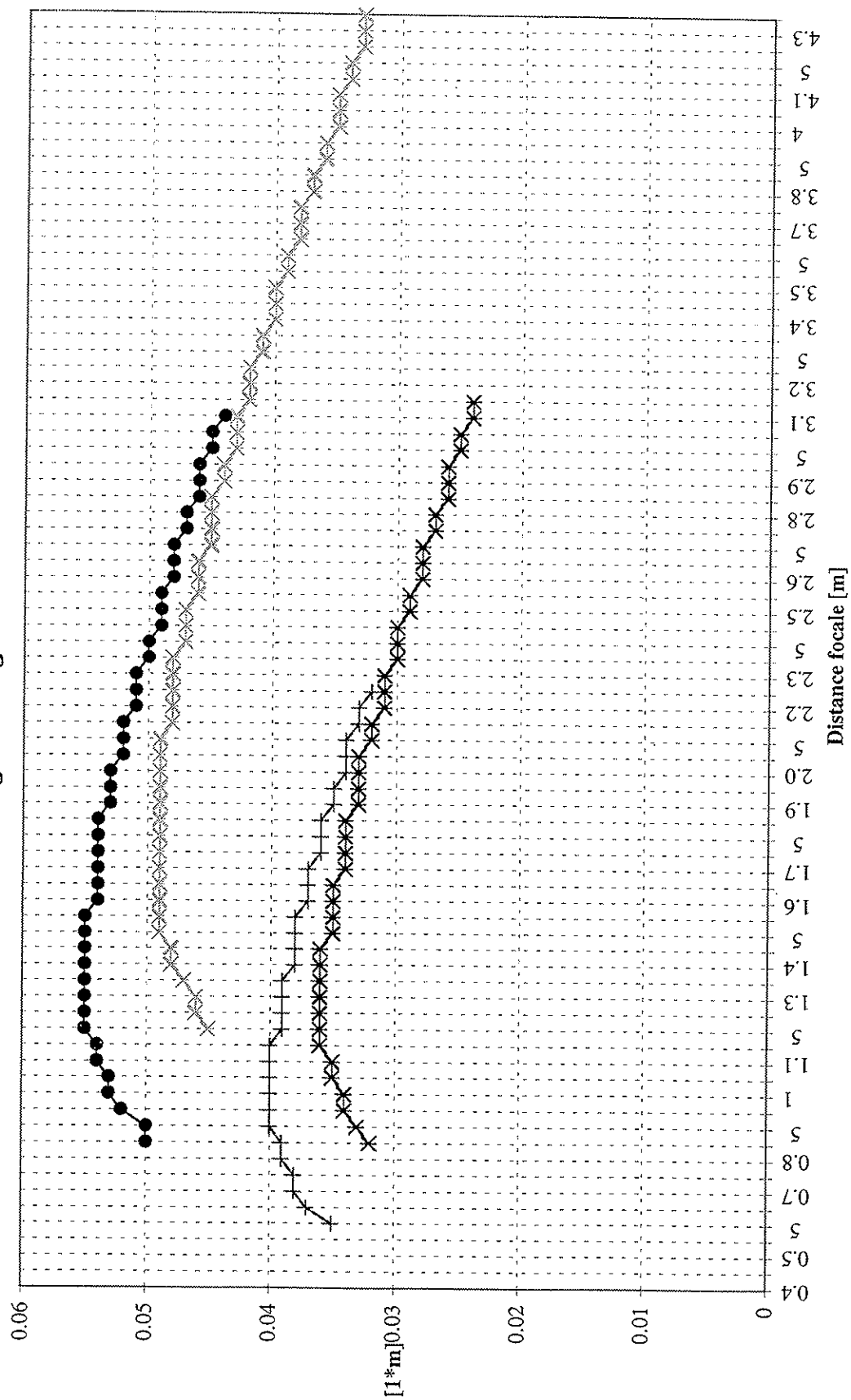
Erreur en y sur la tache focale



Nombre de lamelles

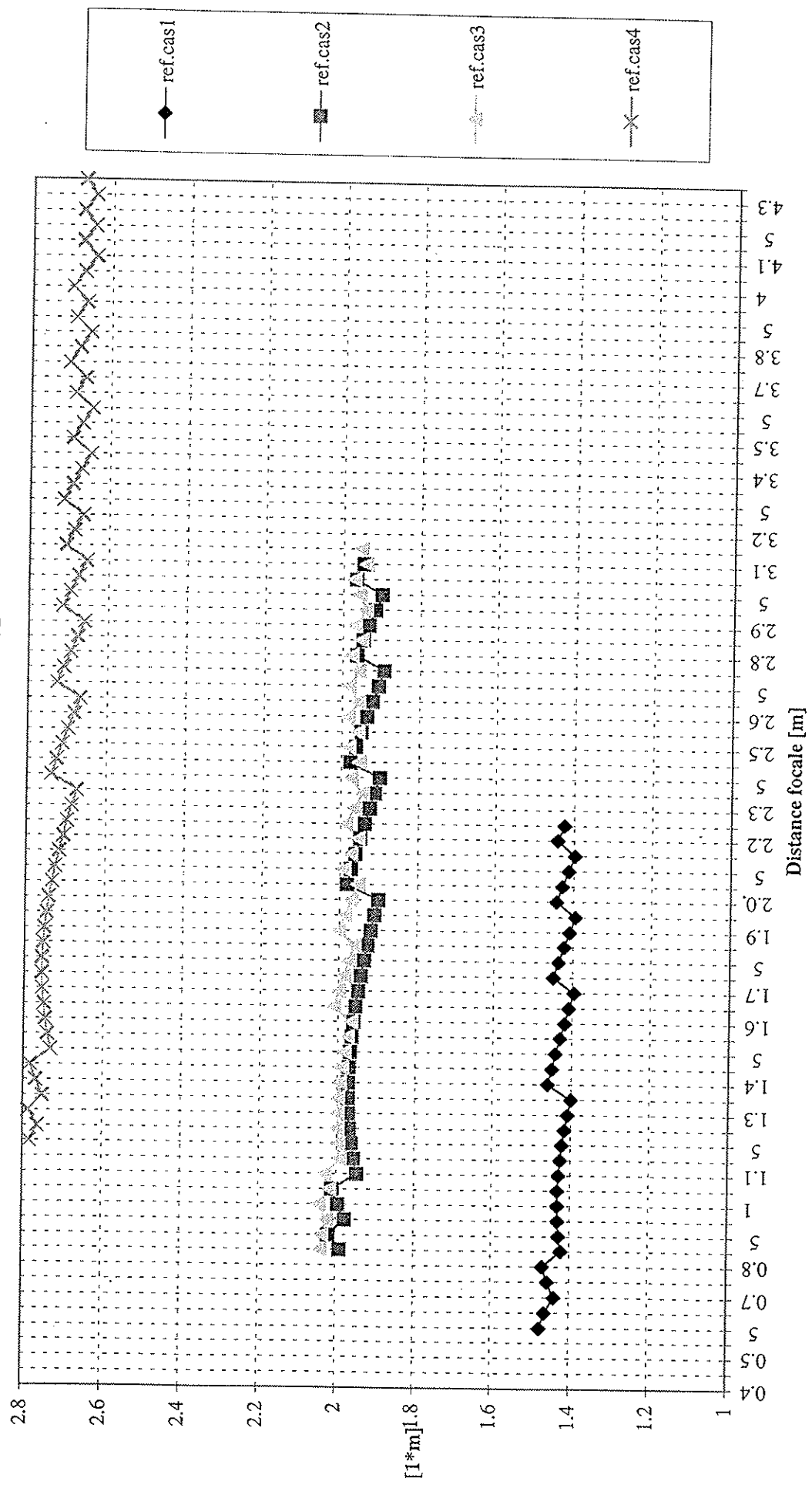


Largeur moyenne des lamelles

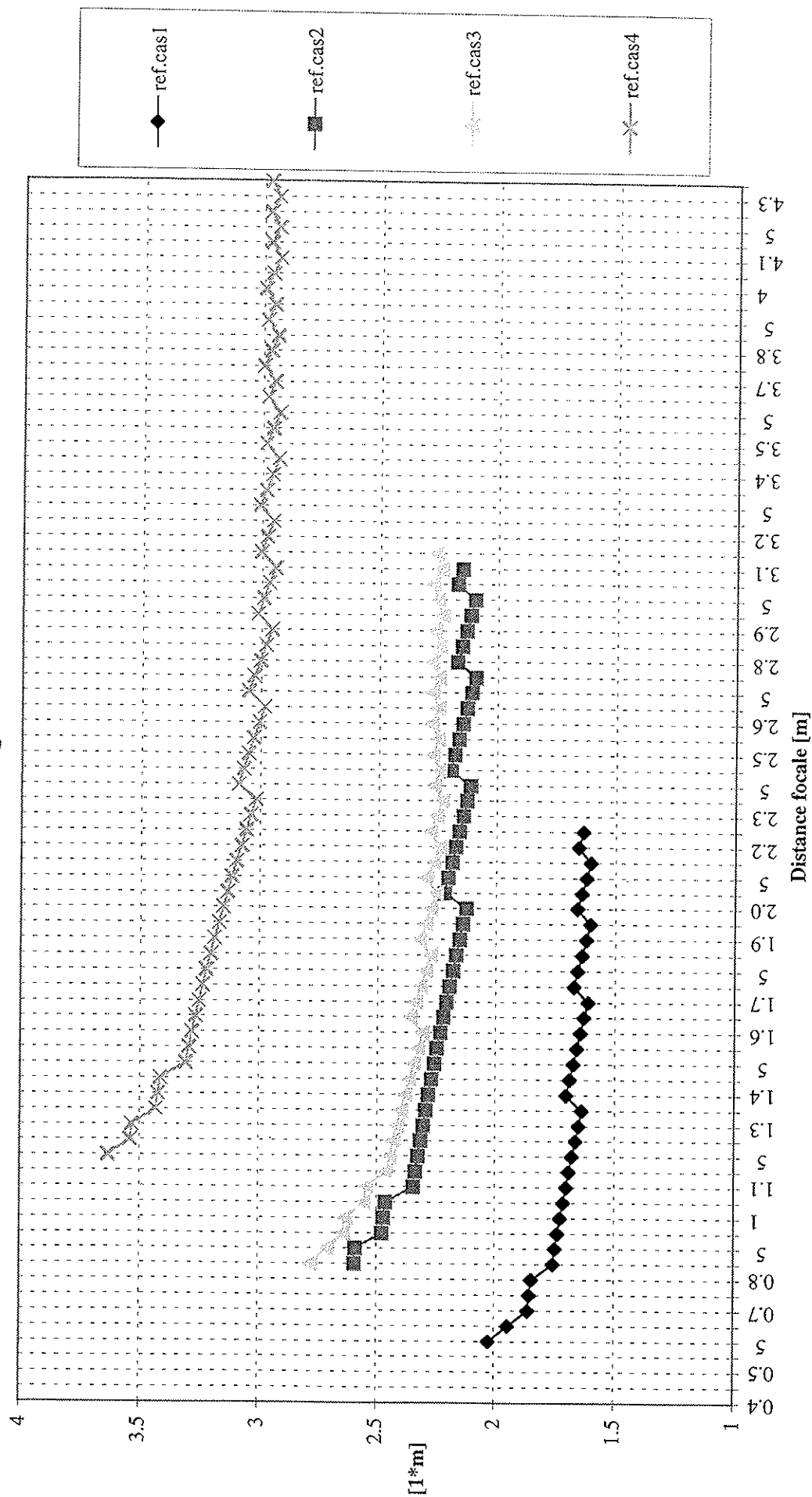


071

Surface matérielle



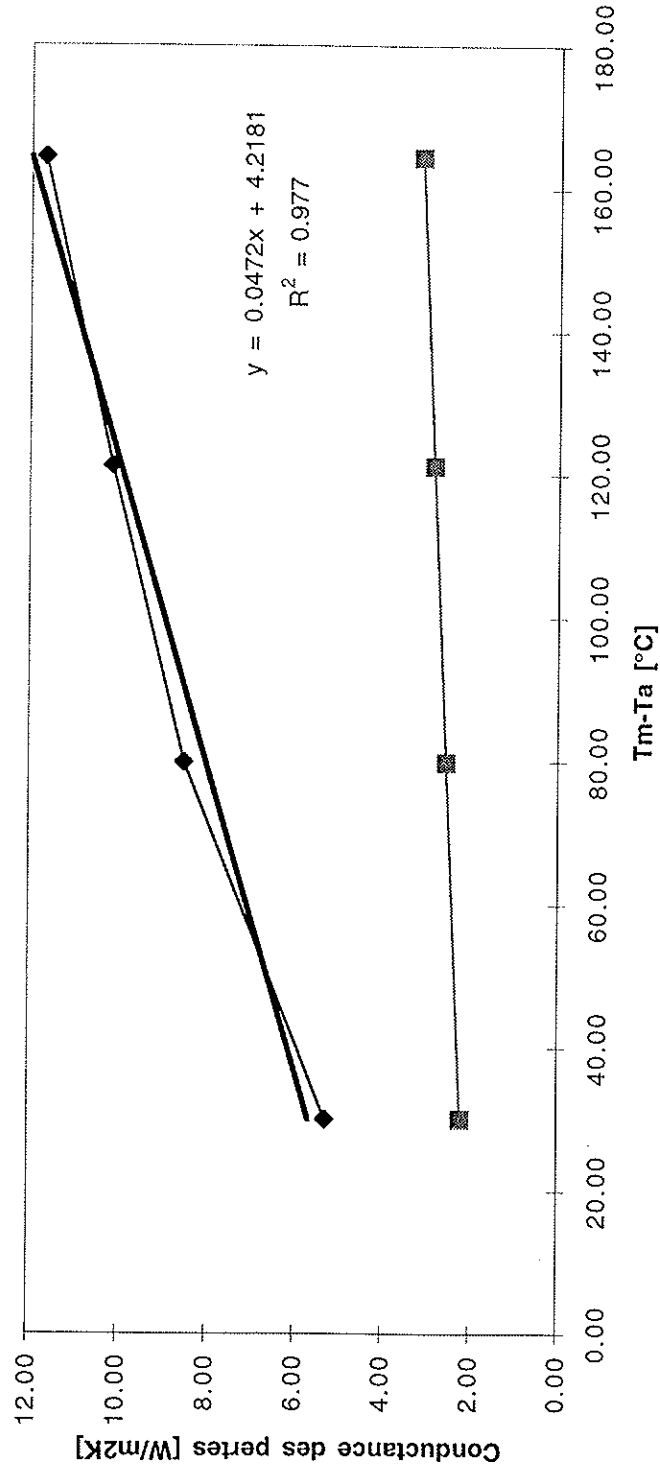
Surface globale



Mesures des performances de CEP2

Tests de nuit et comparaison avec les caractéristiques effectuées selon Schweizer

Mesures de nuit CEPII

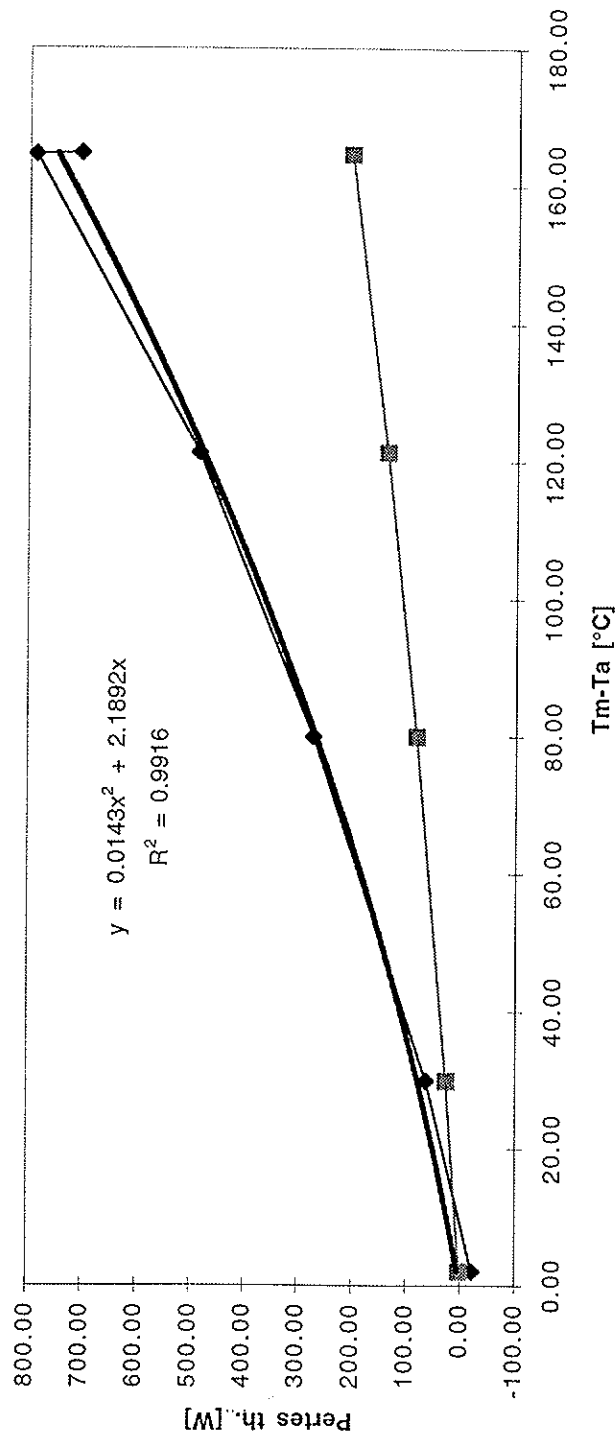


S absorbeur 0.3986 m2

-ΔH= -Ko - K1 x (Tm-Ta)

Heure	TC1[°C]	TC2[°C]	Cp [J/kgK]	Débit[L/min]	TC4[°C]	Température au débitmètre	Densité au débitmètre	Tm-Ta [°C]	H- [W]	Schweizer H-
23:15:47 Uhr	46.50	45.67	1653.71	3.066	15.92	53	906	30.16	5.27	2.19
23:27:49 Uhr	97.62	94.26	1738.86	3.081	16.01	58	902	79.93	8.49	2.54
23:44:06 Uhr	140.29	134.51	1809.67	3.135	16.12	65	895	121.27	10.13	2.83
23:49:41 Uhr	185.17	176.24	1883.64	3.048	16.24	65	895	164.47	11.67	3.13

Mesures de nuit CEP11



S absorbeur		0.3986 m2											
$\Delta H = -K_o \times (T_m - T_a) - K_1 \times (T_m - T_a)^2$				Mesures		Schweizer		Rapport					
				Ko		5.49		W/m2K		2.77			
				K1		0.04		0.007 W/m2K2		5.12			
Heure				TC1[°C]	TC2[°C]	Cp [J/kgK]	Débit[L/min]	TC4[°C]	Température au débitmètre	Densité au débitmètre	Tm-Ta [°C]	H- [W]	Schweizer H-
22:13:32 Uhr				19.17	19.50	1608.02	2.691	17.23	19	936	2.10	-22.35	1.67
22:59:26 Uhr				46.50	45.67	1653.71	3.005	16.15	39	919	29.93	62.92	26.13
23:15:47 Uhr				97.62	94.26	1738.86	3.066	15.92	53	906	80.02	270.52	81.03
23:27:49 Uhr				140.29	134.51	1809.67	3.081	16.01	58	902	121.38	484.50	136.92
23:44:06 Uhr				185.17	176.24	1883.64	3.135	16.12	65	895	164.58	787.16	205.49
23:49:41 Uhr				185.14	176.92	1884.20	3.048	16.24	65	895	164.79	703.90	205.85

Résultats de simulations pour les options de design choisies.

Tableau récapitulatif

Pour chaque choix de design:

Production électrique
Surface du champs de capteurs

Pour la solution retenue:

Paramètres de simulation

Résultats chiffrés selon classes de rayonnement et d'angle d'incidence pour:

Température d'entrée
Température de sortie

Puissance thermique produite
Puissance électrique produite
Puissance thermique effective produite

Energie électrique produite
Energie thermique produite
Energie solaire disponible

Autre:

Caractéristiques du cycle ORC bi-étagé, lien avec le programme de simulation

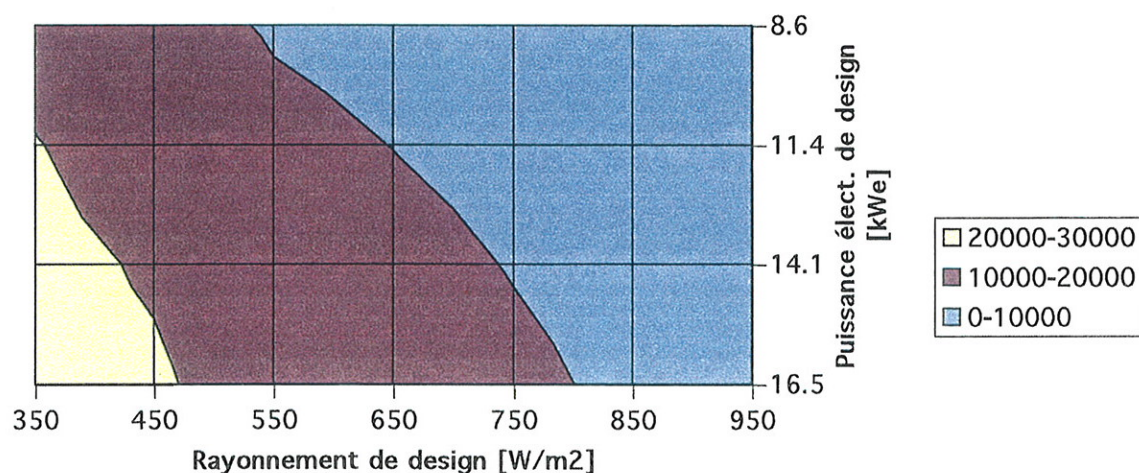
Tableau récapitulatif des différentes options design simulées

Puissance électrique de design	Rayonnement de design	Surface du champ de capteurs	Production d'énergie électrique annuelle	Production spécifique annuelle
kWe	W/m2	m2	kWh/an	kWh/m2/an
16.5	350	342	23707	69
16.5	450	263	21024	80
16.5	550	214	16081	75
16.5	650	180	13947	77
16.5	750	155	11316	73
16.5	850	137	8752	64
16.5	950	122	7603	62
14.1	350	298	22241	75
14.1	450	230	19153	83
14.1	550	187	14376	77
14.1	650	157	12170	77
14.1	750	136	9688	71
14.1	850	120	7389	62
14.1	950	107	6329	59
11.4	350	250	20290	81
11.4	450	193	16589	86
11.4	550	157	12125	77
11.4	650	132	9893	75
11.4	750	114	7686	67
11.4	850	101	5801	58
11.4	950	90	4904	55
8.6	350	200	17158	86
8.6	450	154	13153	85
8.6	550	126	9254	74
8.6	650	106	7261	69
8.6	750	92	5632	62
8.6	850	81	4133	51
8.6	950	72	3413	47

Production d'énergie électrique annuelle [kWh/an]

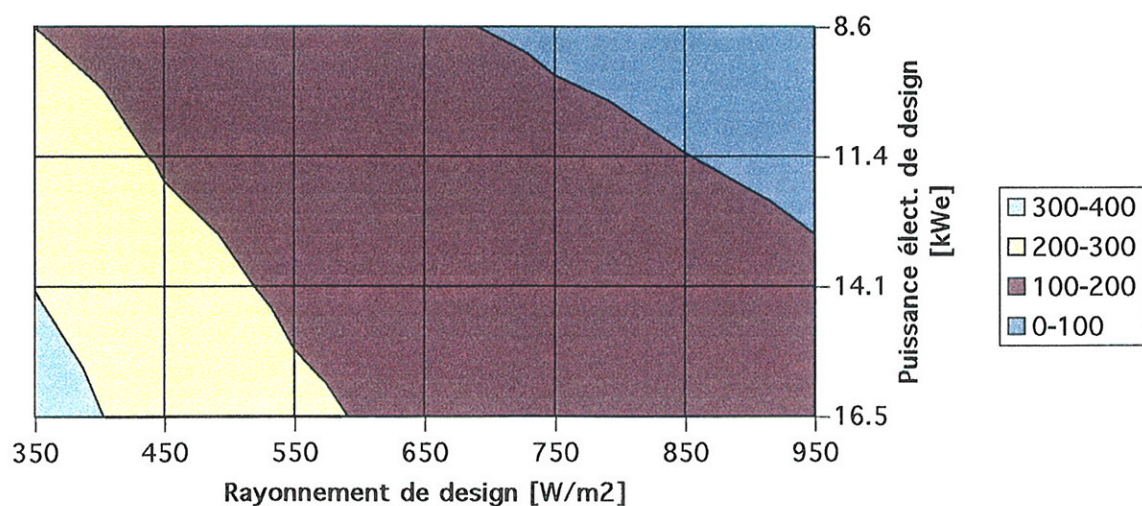
Rayonnement de design [W/m ²]	Puissance élect. de design [kWe]			
	16.5	14.1	11.4	8.6
350	23707	22241	20290	17158
450	21024	19153	16589	13153
550	16081	14376	12125	9254
650	13947	12170	9893	7261
750	11316	9688	7686	5632
850	8752	7389	5801	4133
950	7603	6329	4904	3413

Production d'énergie électrique annuelle [kWh/an]



Surface du champs de capteurs [m²]

Rayonnement de design [W/m ²]	Puissance élect. de design [kWe]			
	16.5	14.1	11.4	8.6
350	342	298	250	200
450	263	230	193	154
550	214	187	157	126
650	180	157	132	106
750	155	136	114	92
850	137	120	101	81
950	122	107	90	72

Surface du champs de capteurs [m²]

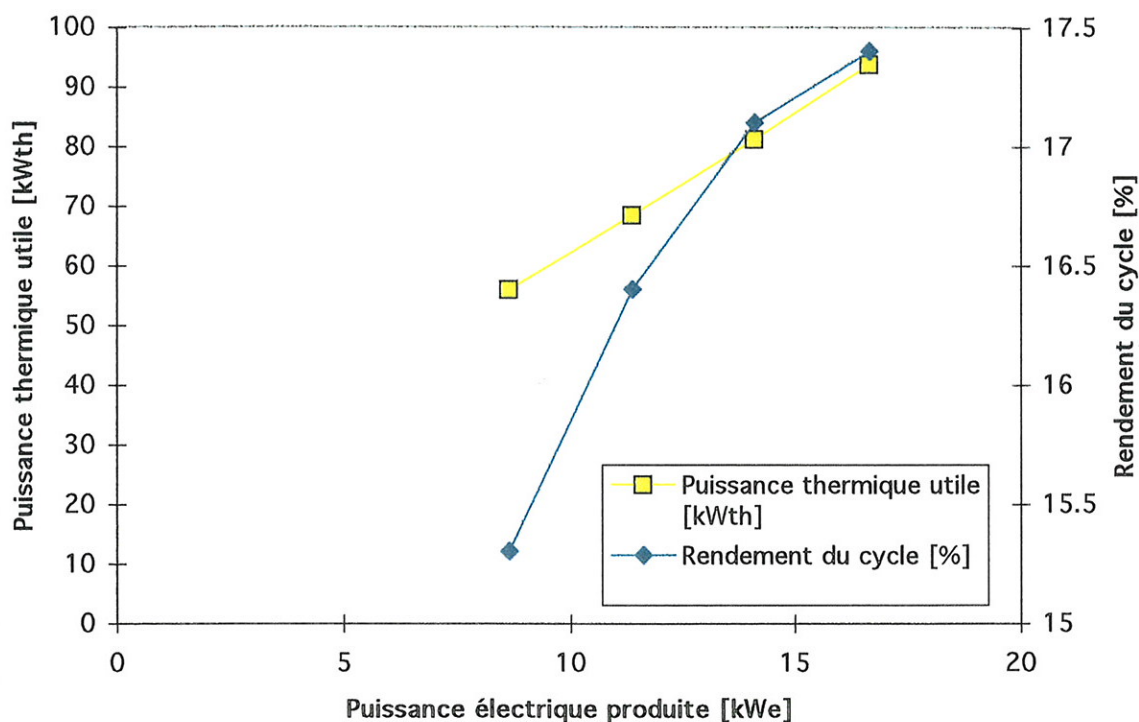
Paramètres de simulation					
Valeurs tirées du cas : Rayonnement de design = 450 W/m2, Pélec de design = 8.6 kW					
TatmM	20 °C		ΔTCapt	30 K	
Tvap =f(Pth)			Cp	1784.35 J/KgK	
Tvap	123 °C		Densité	844.67 kg/m3	
Tm-Ta	128 K		Débit huile	1.03 Kg/s	
			DébitVol	4.38 m3/h	
Constantes			Valeurs fixées par design		
effcapt0	0.8152		RayD	450 W/m2	
effcapt10	1.98		ConcD	35	
effcapt11	0.007		PuissThD	55 kW	
Uéch	350 W/m2K		PélecD	8.59 kW	
Epsi_éch	0.95				
ΔTmin	10 K		Rend_Capt_D	0.79	
			Surf captD	154.33 m2	
ConsC0	59292.63				
ConsC1	-1265.47		Surf échD	7.26 m2	
ConsC2	9.58		ΔTIn	21.64 K	
Consb0	25415.40				
Consb1	0.05				
ConsA2					
Ceff(téta)	35.2	35.24	34.484	32.648	29.732
Classe Ray	0_5	10	20	30	40
150-950	-0.0077	-0.0077	-0.0078	-0.0083	-0.0091
	Ceff(téta)		25.736	20.66	14.504
	Classe Ray		50	60	70
	150-950		-0.0105	-0.0131	-0.0186
Le rendement de design du capteur est déterminé par le rayonnement de design et par la puissance de design choisis.					
Cette dernière fixe la température à l'évaporation.					
Le rayonnement de design et cette température majorée de (DTmin + DTcapt/2) sont utilisées dans l'équation du capteur pour déterminer le rendement de ce dernier					
Les valeur élevées de DTCapt et DTmin permettent d'utiliser une plus grande plage de rayonnement avec le modèle utilisé (Tm- Ta).					

Page 9

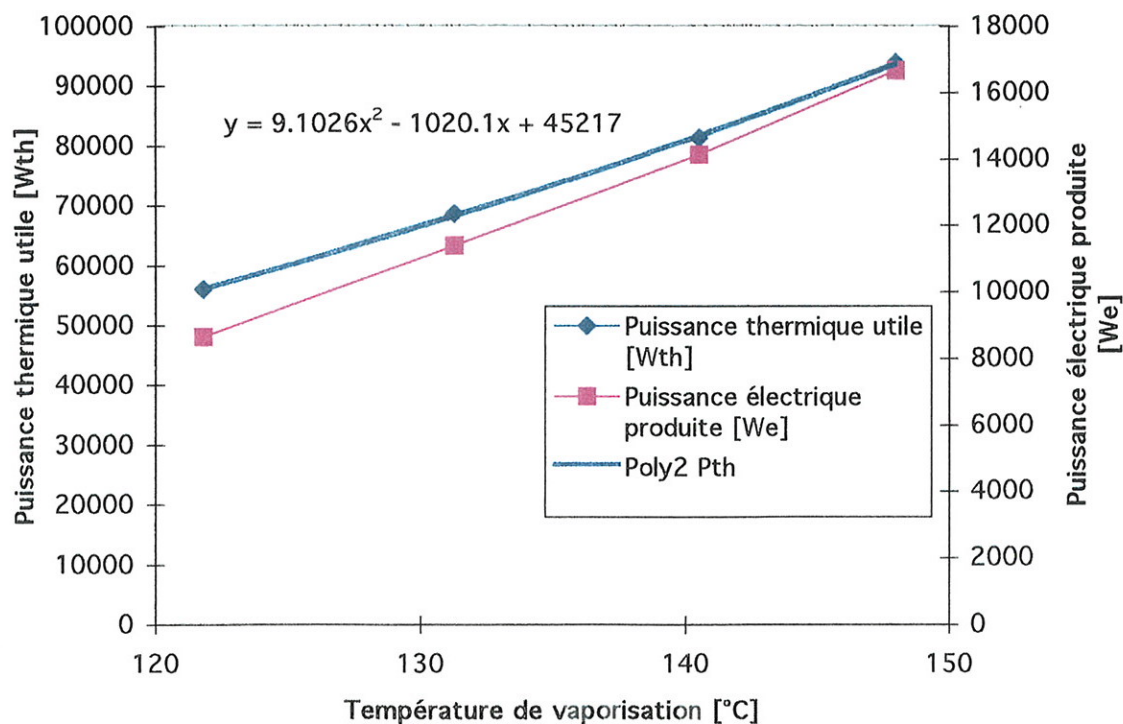
Pth								
Classe Ray	0_5	10	20	30	40	50	60	70
150	0	0	0	0	0	0	0	0
250	30479	30439	30450	30370	30208	29948	29548	28562
350	42801	42792	42798	42660	42489	42175	41751	
450	55184	55210	55176	55064	54866	54543		
550	67635	67642	67603	67492	67238	66916		
650	80060	80078	80050	79913	79614			
750	92565	92526	92497	92397	91948			
850	105041	105022	105003	104713				
950	117493	117500	117359					
1050	129931							
Péle								
Classe Ray	0_5	10	20	30	40	50	60	70
150	0	0	0	0	0	0	0	0
250	3299.1	3290.6	3292.8	3276	3241.6	3186.6	3101.8	2893.2
350	5907.6	5905.7	5906.9	5877.7	5841.5	5775	5685.2	0
450	8529.1	8534.5	8527.4	8503.7	8461.7	8393.4	0	0
550	11165	11166	11158	11135	11081	11013	0	0
650	13795	13799	13793	13764	13701	0	0	0
750	16443	16434	16428	16407	16312	0	0	0
850	16650	16650	16650	16650	0	0	0	0
950	16650	16650	16650	0	0	0	0	0
1050	16650	0	0	0	0	0	0	0
Pth utile								
Classe Ray	0_5	10	20	30	40	50	60	70
150	0	0	0	0	0	0	0	0
250	30479	30439	30450	30370	30208	29948	29548	28562
350	42801	42792	42798	42660	42489	42175	41751	0
450	55184	55210	55176	55064	54866	54543	0	0
550	67635	67642	67603	67492	67238	66916	0	0
650	80060	80078	80050	79913	79614	0	0	0
750	92565	92526	92497	92397	91948	0	0	0
850	93545	93545	93545	93545	0	0	0	0
950	93545	93545	93545	0	0	0	0	0
1050	93545	0	0	0	0	0	0	0

Courbe classée d'énergie produite [kWh]									Total	Cumule
Classe	0_5	10	20	30	40	50	60	70	kWh	
150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13153.3
250	112.2	213.9	260.1	219.5	155.6	111.5	121	49.184	1242.96	13153.3
350	124.1	383.9	437.1	288	292.1	265.6	142.1	0	1932.9	11910.4
450	170.6	443.8	682.2	535.7	414.6	302.2	0	0	2549.09	9977.46
550	201	536	970.8	612.4	288.1	88.1	0	0	2696.32	7428.37
650	234.5	441.6	648.3	412.9	150.7	0	0	0	1888.01	4732.05
750	213.8	295.8	624.3	229.7	65.25	0	0	0	1428.79	2844.04
850	116.6	399.6	333	66.6	0	0	0	0	915.75	1415.25
950	116.6	233.1	83.25	0	0	0	0	0	432.9	499.5
1050	66.6	0	0	0	0	0	0	0	66.6	66.6
Energie thermique utile [kWh]									Total	
Classe	0_5	10	20	30	40	50	60	70	kWh	
150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85443.5
250	1036	1979	2406	2035	1450	1048	1152	485.55	11591.2	85443.5
350	898.8	2781	3167	2090	2124	1940	1044	0	14045.9	73852.3
450	1104	2871	4414	3469	2688	1964	0	0	16509.7	59806.3
550	1217	3247	5881	3712	1748	535.3	0	0	16341.3	43296.6
650	1361	2562	3762	2397	875.8	0	0	0	10959	26955.4
750	1203	1665	3515	1294	367.8	0	0	0	8045.03	15996.3
850	654.8	2245	1871	374.2	0	0	0	0	5144.96	7951.29
950	654.8	1310	467.7	0	0	0	0	0	2432.16	2806.34
1050	374.2	0	0	0	0	0	0	0	374.179	374.179
Gisement annuel solaire [kWh]									Total	Cumule
Classe	0_5	10	20	30	40	50	60	70	kWh	
150	986.5	1663	2046	1292	1285	1106	964.2	322.82	9664.82	120125
250	1297	2458	3093	2571	1847	1369	1517	605.48	14758.9	110460
350	1121	3527	3963	2590	2670	2479	1337	0	17685.6	95700.8
450	1430	3636	5524	4364	3389	2482	794.4	0	21618.8	78015.2
550	1557	4087	7391	4654	2184	660.9	80.16	0	20615.4	56396.4
650	1678	3144	4647	2945	1101	388.3	0	0	13902.5	35781
750	1473	2082	4360	1594	459	0	0	0	9967.37	21878.5
850	914.4	3139	2575	523.5	0	0	0	0	7151.75	11911.2
950	1024	2056	732.1	0	0	0	0	0	3812.19	4759.41
1050	636.7	155.1	155.4	0	0	0	0	0	947.218	947.218

Caractéristiques du cycle ORC bi-étagé avec turbine SCROLL à vitesse de rotation constante



Caractéristiques du cycle ORC bi-étagé avec turbine SCROLL à vitesse de rotation constante



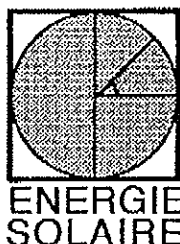
Absorbeur

Offre de la maison "Energie Solaire SA" de Sierre pour deux variantes d'absorbeurs.

Description des deux variantes d'absorbeurs

Caractéristiques techniques des deux variantes d'absorbeurs

Performances hydrauliques et optiques de l'absorbeur



COGENER
Monsieur
Yassine ALLANI

Fax 021 693 70 60

ENERGIE SOLAIRE S.A., C.P. 353, 3960 SIERRE,

le 30 mai 1997

OFFRE

Concerne : prototypes d'absorbeurs

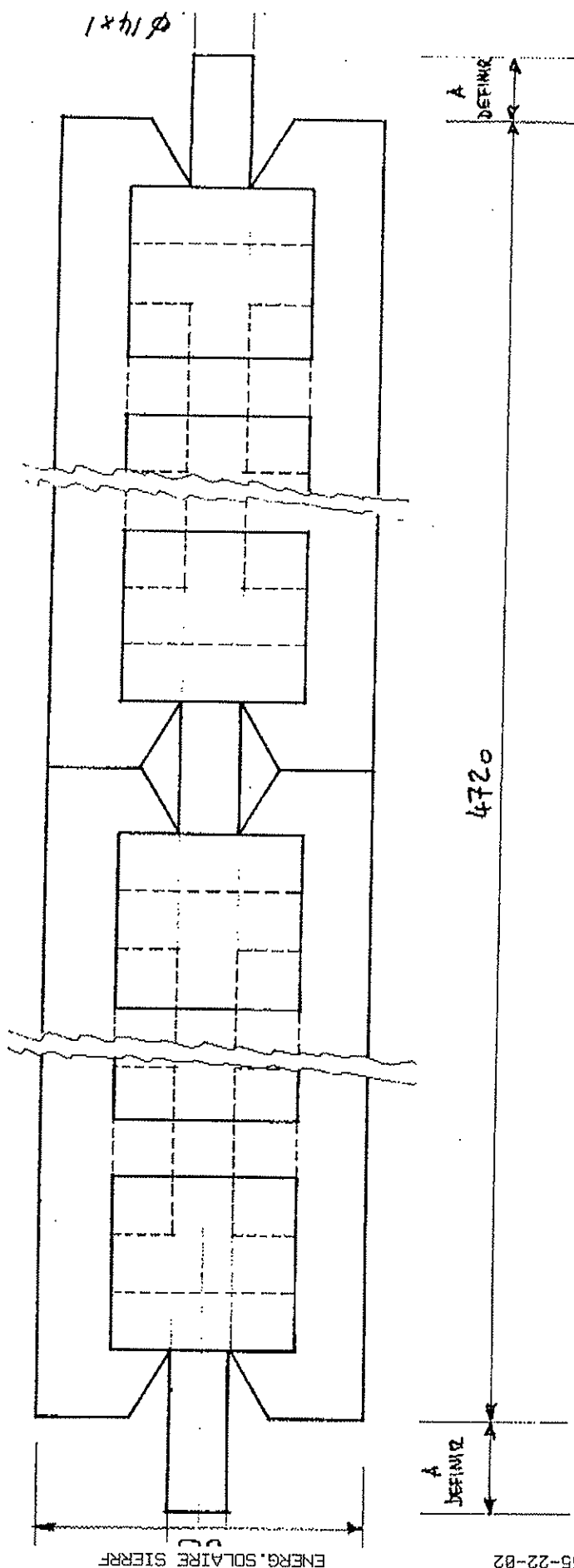
POS		NBRE	UNITE	TOTAL
	Fabrication de prototypes d'absorbeurs pour capteurs tubulaires évacués, soit : absorbeurs noircis une face, soudage de tubulures de liaison et d'extrémités (dans l'axe), emballage et transport. Dimensions des variantes selon croquis annexés.			
1	VARIANTE A (8 cm)			
1.1	Longueur 4720 mm utile	2	1'000.00	2'000.00
2	VARIANTE B (11 cm)			
1.1	Longueur 4720 mm utile	2	930.00	1'860.00
	TOTAL H.T.			3'860.00
	TVA 6,5 %			250.90
	TOTAL A PAYER, TVA Incluse			4'110.90

CONDITIONS

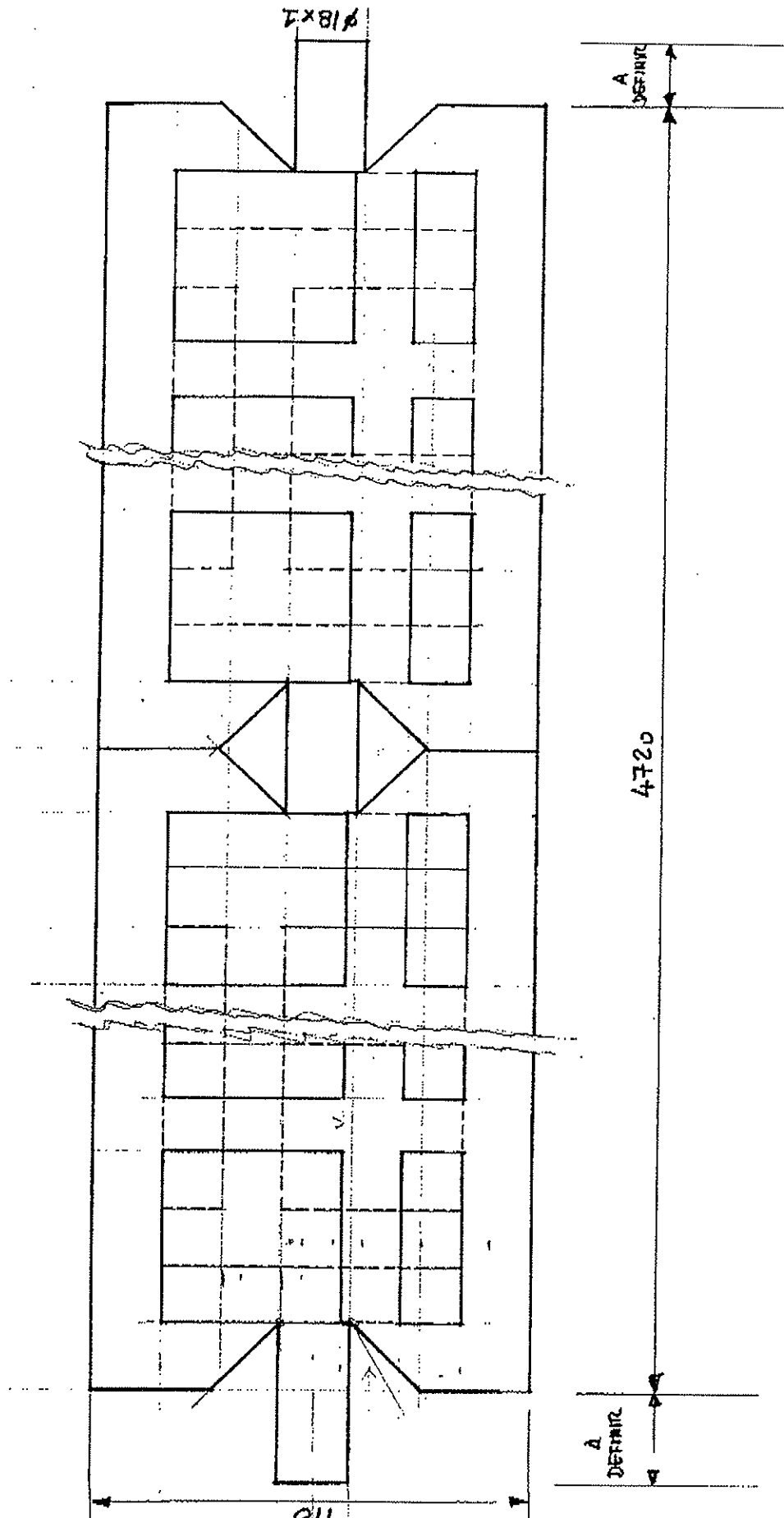
Payement à 30 jours, sans rabais ni escompte,
délai à convenir.

ENERGIE SOLAIRE S.A.

PROTO COGENER TYPE B0
ENERGIE SOLAIRE SA - SIERRA



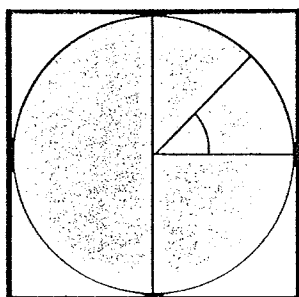
PROTO COGENER TYPE 110
ENERGIE SOLAIRE SA - SIERRE



CONCEPT 11



	Description ou désignation	Avantages	Inconvénients
Matériaux de l'ailette	Acier inox		
Principe du transfert de chaleur	Surface améliorée par emboutissage carré croisé		
Sens de l'écoulement	Traversant		
Technologie et mise en oeuvre de l'absorbeur	Absorbeur à lame d'eau avec surface d'échange se constituant en canal traversant. Emboutissage sur les deux faces du canal de formes carrés croisés à demi pas. Soudage ohmique entre les faces du canal (par point au centre, et linéiques dans les bords).		
Revêtement sélectif	Noir de Nickel-chrôme sur acier inox		
Liaison avec tube en verre	! Prévoir une pince en fil de fer rigide entre les bords de l'ailette et surface interne du tube en verre garantie la cocentricité pour limiter les ponts et chocs thermiques Jonction verre métal avec joint rigide et raccord (! raccord soudé spécial en chaque bout du canal)		
Références et exemple d'application	Energie Solaire SIERRE		
Remarques particulières			



ENERGIE
SOLAIRE
SIERRE

027 55 22 12

**ABSORBEURS SOLAIRES
SELECTIFS POUR CAPTEURS
SOLAIRES PLANS ET CAPTEURS
SANS VITRAGES**

ENERGIE SOLAIRE S.A. - SIERRE

CONCEPTION : absorbeur à lame d'eau - 97 % de la surface exposée est en contact direct avec l'eau - motifs carrés emboutis décalés d'un demi-pas dans les deux sens. Ce dispositif breveté impose au fluide caloporteur des divisions successives en filets multiples assurant la parfaite irrigation de l'absorbeur ainsi qu'un excellent coefficient d'échange thermique.

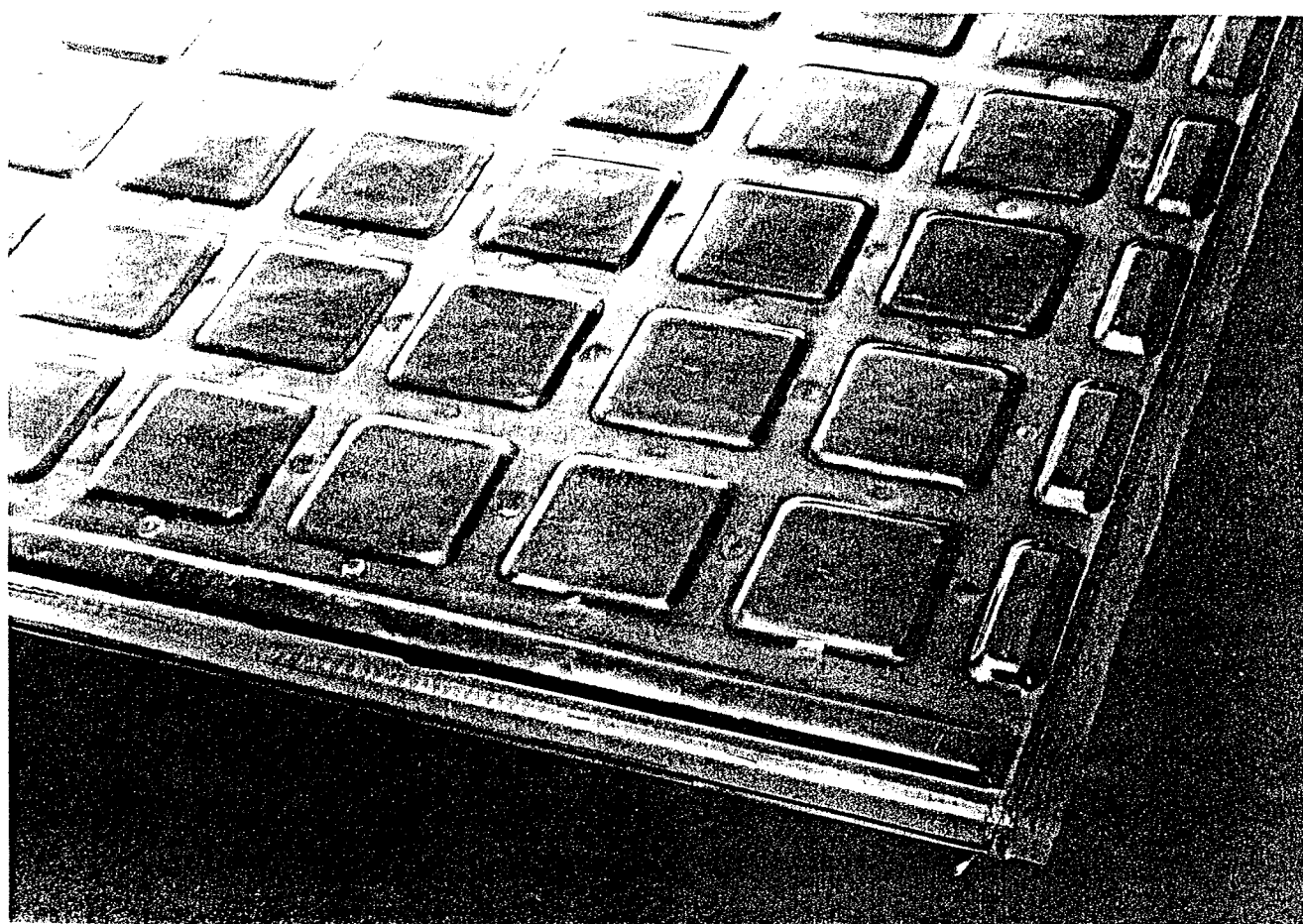
CONSTRUCTION : l'absorbeur est réalisé par soudage par résistance de deux tôles préalablement embouties.

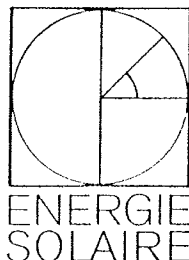
MATIERE : acier inoxydable chrome-nickel austénitique (1.4301), épaisseur 0.6 mm.

SURFACE SELECTIVE : couche de chrome noir électrolytique, coefficient d'absorption = >0.94 , coefficient d'émission = <0.20 .

FORMATS STANDARDS : 2360 x 860 et 1520 x 860 mm, deux embouchures filetées Ø 3/8", couche sélective sur la face opposée aux embouchures.

CONDITIONS D'UTILISATION : pression de service maximale 4 bar. Fluide caloporteur sans ions chlore.





FICHE TECHNIQUE DES ABSORBEURS SOLAIRES ENERGIE SOLAIRE S.A.

Type:

Absorbeur en acier inoxydable à lame d'eau, à irrigation contrôlée, avec revêtement sélectif

Description :

Type 1:

Longueur	2360 mm $\pm$ 1.5 mm
Largeur	860 mm $\pm$ 1 mm
Surface	2.030 m ²

Type 2:

Longueur	1520 mm $\pm$ 1.5 mm
Largeur	860 mm $\pm$ 1 mm
Surface	1.307 m ²

Poids:	9.8 kg/m ²
--------	-----------------------

Volume intérieur :	2.35 l/m ² $\pm$ 0.3 l
--------------------	-----------------------------------

Epaisseur de la tôle	0.6 mm
----------------------	--------

Marge sur les bords	13 mm $\pm$ 2 mm
---------------------	------------------

Embouchures de raccordement	2 x ϕ 3/8" gaz
-----------------------------	---------------------

Tolérances des entre-axes des embouchures	longueur $\pm$ 2 mm largeur $\pm$ 1.5 mm
---	---

Capacité thermique, rempli d'eau	20 KJ/m ²
----------------------------------	----------------------

Pression de service maximum	4 bars
-----------------------------	--------

Débit nominal	40 l/h m ²
---------------	-----------------------

Débit minimum	35 l/h m ²
---------------	-----------------------

Perte de charge au débit nominal de 40 l/h m²

Type 1	< 400 PA (40 mmCE)
--------	--------------------

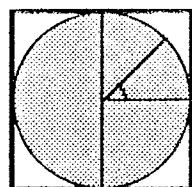
Type 2	< 250 PA (25 mm CE)
--------	---------------------

Fluide caloporteur	eau + 50% monopropylène glycol sans ion chlore
--------------------	---

Contrôle de résistance à la pression	6 bars
--------------------------------------	--------

Caractéristiques de la couche sélective	Coefficient d'absorption > 0.91 Coefficient d'émission < 0.20
---	--

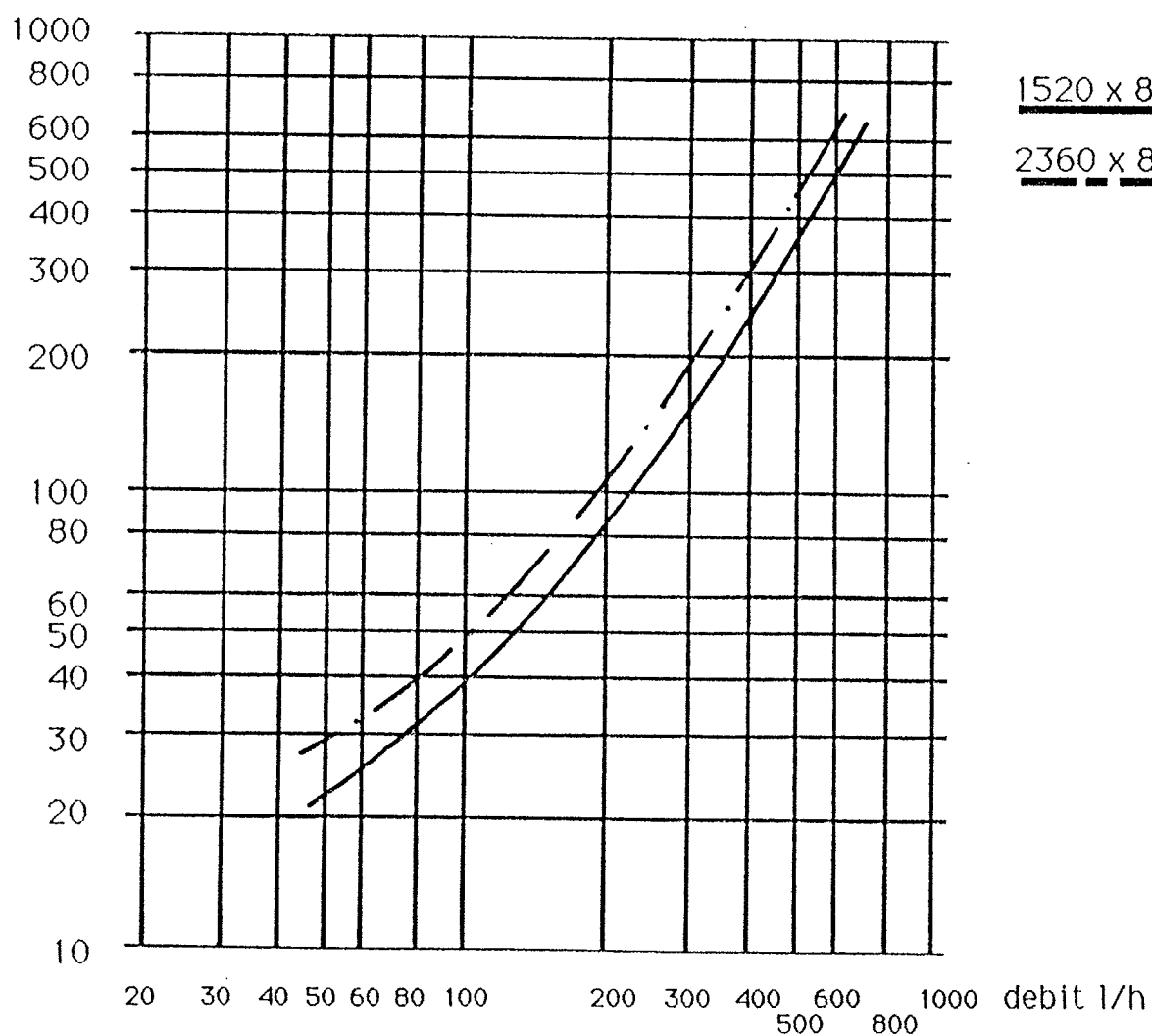
Diagramme des pertes de charge	voir annexe
--------------------------------	-------------



ENERGIE
SOLAIRE

Diagramme des pertes de charges
dans l'absorbeur AS

mmCE



Ingenieurschule Rapperswil ITR
Oberseestrasse 10, CH-8640 Rapperswil
Tel. +41 55 222 46 21, Fax +41 55 210 61 31

TELEFAX vom 20. November 1996

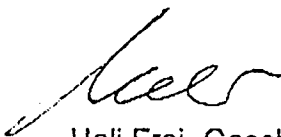
Seite: 1 von 1

An Fax Nr.	027 455 22 02
Firma	Energie Solaire SA
zu Handen	Herrn J.P. Rossy
Kopie an	-
Von	Ueli Frei, Geschäftsführer
Ref. Nr.	-
Thema	Absorber Coatings

Salu Jean-Pierre

Herewith you receive the results of our measurements including high temperature tests. Both coatings are very efficient in the as plated state. After the high temperature testing there is a slight degradation of the absorptance due to spectral change of the transition position from low to high reflectance. This degradation is very typical for black chrome coatings. The reason is simply the evaporation of volatile parts. However the decision if the stability of the coating is sufficient or not is not finally decided yet. This first measurements just indicate that it is most probable that the coating is stable enough regarding high temperature degradation.

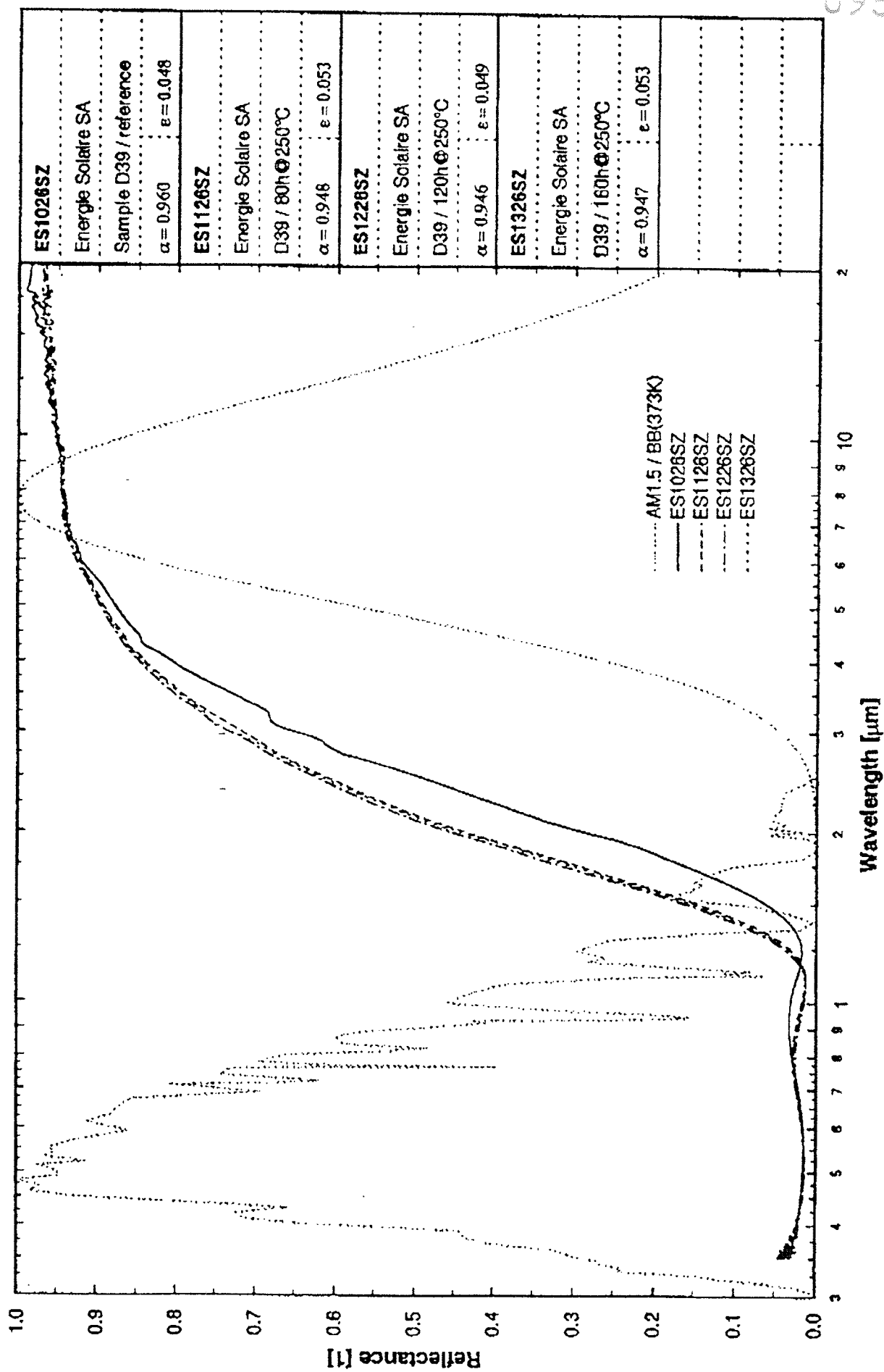
Sincerely yours



Ueli Frei, Geschäftsführer

095

Optik - Absorbermessung



Miroir Solaire

Solutions techniques proposées

Offre de la maison "NOTZ Plastics AG" à Bienne, pour verre acrylique PMMA XT et Polycarbonate PC

Offre de la maison "Miroiterie du Léman SA" à Lausanne, pour différents types de miroirs.

Propriétés requises des différents matériaux utilisés dans un miroir.

Solutions Techniques Proposées

Un miroir solaire en plastique est généralement composé d'un substrat en matière plastique (MP) sur lequel une couche réfléchissante (CR) est déposée d'une façon homogène grâce à une certaine technique dite de métallisation. Selon le matériaux réflecteur déposé et sa sensibilité à la corrosion et/ou à l'abrasion, une couche protectrice (CP) pourrait être déposée à la surface de la CR.

A- Proposition pour le Matériaux Réflecteur, CR

Malgré une réflectivité inférieure à celle de l'Argent (Ag) ou de l'Aluminium (Al), le Nitrure de Titane (TiN) semble être le matériaux réflecteur le plus intéressant et le plus prometteur pour la fabrication de miroirs en plastiques (cf. Tableau X). Ce matériaux se caractérise par une dureté élevée, une haute résistance à l'usure et à la corrosion, un faible coefficient de friction, et une bonne inertie chimique. En présence de l'air, le TiN se recouvre d'une fine couche de d'Oxyde de Titane (TiO₂) transparente et réfractaire. De plus, contrairement à Ag ou Al, le TiN (de même que TiO₂) présente une dureté telle, qu'il n'a pas besoin d'être protégé à sa surface par une couche protectrice (CP).

Matériaux	SiO ₂	Ag	Al	Al ₂ O ₃	TiN	TiO ₂	Cr
Reflectivité; %	0	98	90	0	85	0	60-80
Dureté; (Knoop)	7	2.5	2	9	9	7.5	7
Coef. dilat. Thermiq.; * 10 ⁻⁶ K ⁻¹	0.55	19	25	6.5	9.3	9	6
Fusion; [°C]	1700	961.9	660.4	2047	2950	1867	1857

Tableau X: Quelques propriétés des CR proposées ainsi que de leurs revêtements naturels.

B- Propositions pour le substrat en MP

Option 1: Utilisation de MP conventionnelles et existantes sur le marché

De tous ces matériaux, l'ABS (Copolymère Acrylonitrile-Butadiène-Styrène), l'ASA (Copolymère Ester Acrylique-Styrène-Acrylonitrile) ou éventuellement le FEP (Fluor-Ethylène-Propylène) présentent les meilleures dispositions pour leur utilisation comme substrats pour miroirs en plastique (cf. Tableau XX). Parmi ces trois matériaux, l'ABS est le plus répandu et le moins cher. Il est déjà largement utilisé sous forme métallisée dans l'industrie automobile (ex. Feux des voitures, etc.). L'ASA coûte plus cher que l'ABS. Cependant, il présente une meilleure résistance au vieillissement et aux intempéries. Le FEP est le plus cher des trois matériaux. Mais même s'il présente des propriétés très intéressantes, son emploi ne peut être envisagé que si des solutions très satisfaisantes n'ont pu être obtenues avec l'ABS et l'ASA. A titre indicatif, le prix par m² de miroirs solaires en verre est d'environ de 100 \$.

	Unités	ABS	ASA	FEP	COC	Note
Masse Volumique	g/cm ³	1.06	1.07	≅ 2.15	1.02	
Absorp. d'eau	%	0.5	0.45	< 0.01	< 0.01	
Résist. aux intempéries	-	Bon.	Excel.	Excel.		
Dureté	N/mm ²	88	92	57-60	184-190	Shore pour FEP
Résistance à la traction	N/mm ²	47	52	20.6	66	
Allongement à la rupture	%	16-20	15-20	300	3-4	
Tension de flexion limite	N/mm ²	68	70	20		
Résilience	kJ/m ²	12	7-14	Sans rupt.	13-15	
Module d'élasticité	N/mm ²	2400	2500	> 410	3200	
Constante diélectrique	ε à 10 ⁶ Hz	3.3	3.4	2.1	2.35	à 10 Hz pour COC
Conductibilité thermique	W/mK	0.17	0.15	0.19	0.16	
Coeff. de dilatation linéaire	K ⁻¹ 10 ⁻⁵	8-11	8-11	8.3	6	
Résist. à la chaleur continue	°C	80	85	205	130-170	
Résist. au froid	- °C	40-50	60	255		
Prix approximatif	SFr/m ²	16.50	27			Prix au détail

Tableau XX: Propriétés des MP proposées

Option 2: Utilisation de nouvelles MP récemment développées

Durant ces dernières années, une nouvelle génération de MP a vu le jour. Ces polymères ont été développés grâce à une nouvelle technologie appelée Catalyse par Métallocènes*. Les matériaux produits par cette technologie présentent des propriétés nettement supérieures à celles des matériaux existants. Actuellement, ces nouvelles MP sont encore produites à de très faibles tonnages. Mais à moyen et long terme, leurs capacités de production seront beaucoup plus grandes vu leurs plus faibles coûts par rapport aux MP existantes. Parmi ces nouveaux matériaux, nous pouvons citer les Copolymères Cyclooléfiniques (COC). Nous pensons que la fabrication de miroirs à base de COC est très possible. Ainsi la comparaison de performances de tels miroirs par rapport à ceux en ABS et/ou ASA pourra être effectuée sur le même capteur et dans les mêmes conditions.

C- Propositions de Techniques de Métallisation

Option 1: Magnetron Sputtering

C'est un cas particulier du "cathodic sputtering" dans lequel un magnetron est utilisé. Généralement, on parle de "Plasma assisted magnetron sputtering" (PAMS). Cette technique continue d'être largement utilisée à l'échelle industrielle. Elle est par exemple employée dans la production de réflecteurs pour l'industrie automobile. Lors du procédé, cette technique sert à la fois et dans la même chambre au prétraitement par plasma, à la déposition de la CR et parfois à la formation d'un revêtement polymérisé par plasma pour une meilleure adhésion et résistance à la corrosion de la CR. Il n'y a pas longtemps, le procédé se faisait d'une façon discontinue (temps de cycle: 30 à 45 min) et sa rentabilité n'était pas optimale. Heureusement, dérivés de l'industrie des disques CD, il existe actuellement une nouvelle génération de systèmes de métallisation quasi-continus capables de déposer (par magnetron sputtering) sur des substrats tridimensionnels des revêtements uniformes en moins de 40 secondes (temps d'échange des substrats inclu). Les revêtements des feux des voitures Volkswagen "Golf" se font actuellement selon ce système.

* Le métallocène est un catalyseur (ou initiateur) chiral (asymétrique) rigide constitué d'un noyau métallique (Ti

Option 2: Laser Enhanced Chemical Vapor Deposition (LECVD)

La combinaison du laser avec la CVD conventionnelle est une technologie tout à fait nouvelle. Actuellement, cette technique est de plus en plus employée mais pas encore à l'échelle industrielle, à notre connaissance. D'après certains spécialistes, cette technique photolytique peut être économiquement compétitive par rapport aux méthodes conventionnelles. Elle présente également l'avantage de chauffer moins la surface du plastique lors du procédé de déposition permettant ainsi d'obtenir une meilleure adhésion de la CR à la surface du plastique.

Notz

PLASTICS AG

ROUTE DE BERNE 18
CH-2555 BRÜGG/ BIENNE
TEL. 032 / 366 74 00
FAX 032 / 366 74 25

DESTINATAIRE : POLYKEM PARC SCIENTIFIQUE EPFL
1015 LAUSANNE

A L'ATTENTION DE : M. BELKHIRIA

N / Référence :

ANGELO GRASSO

Vente Suisse-Romande + Tessin

Tél. direct 032 / 366 74 20

N° FAX : 021 693 83 76
N° TEL. : 021 693 83 77

DATE : 26.06.97
PAGES : 1

OFFRE

Réf.:

Nous vous remercions de votre demande et vous offrons volontiers :

**Plaques en formats, types de surface
et couleurs standard,
en charges de 5 tonnes env.**

	<u>Verre acryl. PMMA XT</u>	<u>Polycarbonate PC</u>
Dim. 3050 x 2050 x 3 mm (env. 1400 m2)	Fr. 18,90 / m2	Fr. 31,20 / m2
	<u>ABS</u>	<u>ASA</u>
Dim. 3000 x 1400 x 3 mm <i>6,2 m² x 3 mm</i>	Fr. 5,20 / kg <i>1,06 g/cm³ => 16.54 Fr/m²</i>	Fr. 8,40 / kg <i>1,07 => 26.36 Fr/m²</i>
	<u>FEP</u>	
Dim. 10 x 1,25 m épais. 1,5 mm 15 x 1,25 m épais. 2,3 mm	Prix et quantités uniquement sur demande précise.	

Prix : TVA exclue, sous réserve de modification

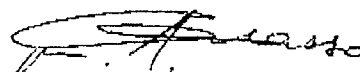
Délai : à convenir

Livraison : franco dès Fr. 1000.--

Paiement : 30 jours net

Nous restons volontiers à votre disposition pour tous renseignements complémentaires et dans l'attente de vos nouvelles, nous vous présentons nos meilleures salutations.

NOTZ PLASTICS SA



Nous fournissons nos prestations exclusivement sur la base de nos conditions générales de vente et livraison.

102

MIROITERIE DU LEMAN S.A.
ROUTE DE GENEVE 80 1000 LAUSANNE 20
TEL. 021 / 624.40.41 FAX 021 / 625.53.85

Destinataire : **POLYKEM
E.P.F.L.
PARC SCIENTIFIQUE
1015 LAUSANNE**

A l'att. de Monsieur BELKHIRIA

**TEL NO 021 / 693.83.76
FAX NO 021 / 693.83.77**

Lausanne, le 18 avril 1997 / LR

Nombre de page : 3

OFFRE FAX NO 4826

Monsieur,

Nous nous référons à votre demande du 17 avril dernier et avons l'avantage de vous adresser ci-dessous notre offre pour :

QUELQUES M2

4003MIC4
MIROIR CLAIR 3 MM
rectangulaire
coupe franche

sfr. 18.00 le m2

4004MIC4
MIROIR CLAIR 4 MM
rectangulaire
coupe franche

sfr. 17.80 le m2

4006MIC4
MIROIR CLAIR 6 MM
rectangulaire
coupe franche

sfr. 36.00 le m2

1 HECTARE

4003MIC4
MIROIR CLAIR 3 MM
rectangulaire
coupe franche

sfr. 14.40 le m2

4004MIC4
MIROIR CLAIR 4 MM
rectangulaire
coupe franche

sfr. 14.20 le m2

4006MIC4
MIROIR CLAIR 6 MM
rectangulaire
coupe franche

sfr. 28.80 le m2

Moins-value

- pour verre clair (verre sans argenture)
sfr. 1.25 le m2

B- Propriétés requises des différents matériaux utilisés dans un miroir

Propriétés requises pour une MP utilisée comme substrat:

- haute planéité
- haute résistance aux intempéries, aux fluctuations dues à la variation de la température atmosphérique et aux radiations UV.
- haute résistance aux contraintes mécaniques et aux flexions planes (haut module d'élasticité).
- résiste à l'abrasion (vent de sable, grêle, etc.) $\Rightarrow$ dureté supérieure ou égale à celle du quartz (dureté 7, Knoop 820)
- expansion thermique en adéquation avec le revêtement réfléchissant (pas de fissuration ou bombage à long terme).
- facile à mettre en oeuvre et à usiner.
- longue durée de vie; de préférence ≥ 20 ans
- faible coût de production
- non nuisible à l'environnement (ne dégrade pas en matières nocives)

Propriétés requises pour la couche réfléchissante (CR):

- déposition homogène et uniforme (pas d'irrégularités à la surface $\Rightarrow$ qualité miroir)
- haute adhésion au substrat: ne doit pas "peler" durant sa durée de vie
- haute qualité réfléchissante (≥ 80 %, de préférence $\geq 90\%$) durant sa durée de vie
- haute résistance aux intempéries (résistance à la corrosion) et aux gaz
- résiste à l'abrasion; dureté ≥ 7 . Si ce n'est pas le cas, une couche protectrice transparente est nécessaire.
- longue durée de vie; de préférence ≥ 20 ans
- faible coût
- technique de déposition sur MP rentable et n'employant pas de matières toxiques.

Propriétés requises pour la couche protectrice (CP):

La plupart des propriétés requises pour le substrat reste valable pour la CP. Néanmoins, celle-ci doit en plus satisfaire les conditions suivantes:

- haute transparence tout le long de sa durée de vie. En effet, certains polymères et/ou additifs (agents anti-UV, etc.) vieillissent mal aux rayons UV entraînant une baisse de la qualité de transparence du film et donc du miroir.
- bonne imperméabilité à l'air et à l'humidité.

Malheureusement, il est généralement très difficile d'obtenir un miroir dont les matériaux soient à la fois bon marché et possédant toutes les propriétés requises. Cependant, certains matériaux existant sur le marché peuvent accumuler une bonne partie des propriétés désirées et pourraient, par conséquent, constituer des solutions intéressantes pour la fabrication de miroirs en plastique. De plus, comme il le sera mentionné plus tard, et grâce à la nouvelle technologie de catalyse par métallocènes, une nouvelle génération de MP qu'on prévoit d'être bon marché et possédant des propriétés supérieures à celle déjà existante a vu le jour ces deux dernières années. Ces matériaux sont actuellement produits en faible tonnage ou en cours de développement. Mais on leur prédit déjà un très grand avenir (on parle déjà de révolution et du fait que celui qui maîtrisera cette technologie maîtrisera sûrement le marché mondial des polymères de demain). L'utilisation de ces types de matériaux pour la fabrication des miroirs en plastique de demain aura sûrement des répercussions très positives sur les coûts et la qualité de ces miroirs.

Dans ce qui suit, nous énumérerons les matériaux que nous pensons susceptibles d'être utilisés pour la fabrication des miroirs désirés. Les différentes propositions pour les MP seront divisées en deux groupes. L'un concernant les MP "classiques" existantes en grands tonnages. L'autre concernant les nouveaux matériaux, récemment développés, dont le tonnage est encore faible, mais qui va nécessairement s'accroître dans un proche avenir vu les propriétés très intéressantes qu'ils possèdent.