



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'économie DFE
Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART

Photovoltaïque

**Energie et chaleur provenant d'installations
photovoltaïques**

Ludo Van Caenegem, Alina Pasca

Journées d'information en technologie agricole
Tänikon, 13/14 octobre 2009



Ensoleillement: 350 kW

Electricité: 40 kW

Chaleur utilisable: 160 kW





Généralités

- Les installations photovoltaïques sont **onéreuses**
- **Rendement énergétique:**
 - Photovoltaïque: $1 - 1.2 \cdot 10^6$ kWh/ha an
 - Biomasse: $4 - 8 \cdot 10^4$ kWh/ha an
- Les exploitations agricoles disposent de **toitures de grande dimension**, qui conviennent pour les installations PV
- L'énergie photovoltaïque est subventionnée: **rétribution garantie pour l'injection d'électricité** à partir de 2009



Subvention du courant solaire

- Rétribution à prix coûtant à partir de 01.01.09 pendant 25 ans
- 16 millions de Fr. (5% de 320 millions) pour l'énergie photovoltaïque
- Correspond environ à 25 MW ($\approx 250'000 \text{ m}^2$)
- Investissements en Fr. par kWhp: Fr. 10'000

Indépendant	<10 kW	65
	<30 kW	54
	<100 kW	51
	>100 kW	49
Monté sur la toiture	<10 kW	75
	<30 kW	65
	<100 kW	62
	>100 kW	60
Intégré dans la toiture	<10 kW	90
	<30 kW	74
	<100 kW	67
	>100 kW	62



Installations PV intégrées dans le toit < > montées sur le toit

	Dans le toit	Sur le toit
Avantages	Remplace la toiture classique	Meilleur rendement électrique grâce au refroidissement?
	Utilisation thermique pour le séchage en grange	Choix de l'inclinaison idéale (indépendamment du toit)
	Refroidissement possible	Accès facile
	Tarif de rétribution élevé	
Inconvénients	Puissance électrique inférieure si le refroidissement est insuffisant	Nécessité d'une toiture classique
	Sous-toiture nécessaire	Aucune exploitation thermique possible
	Accès en cas de réparations difficile	Tarif de rétribution plus faible
	Étanchéité de la toiture	



Questions

- Combien de chaleur peut-on tirer des modules PV?
- A quel point le rendement électrique des modules PV augmente-t-il en cas de ventilation (=refroidissement)?
- Le refroidissement mécanique des modules PV vaut-il la peine sans utilisation de la chaleur?
- Comment peut-on utiliser la chaleur à bon escient (exemple séchage en grange)?

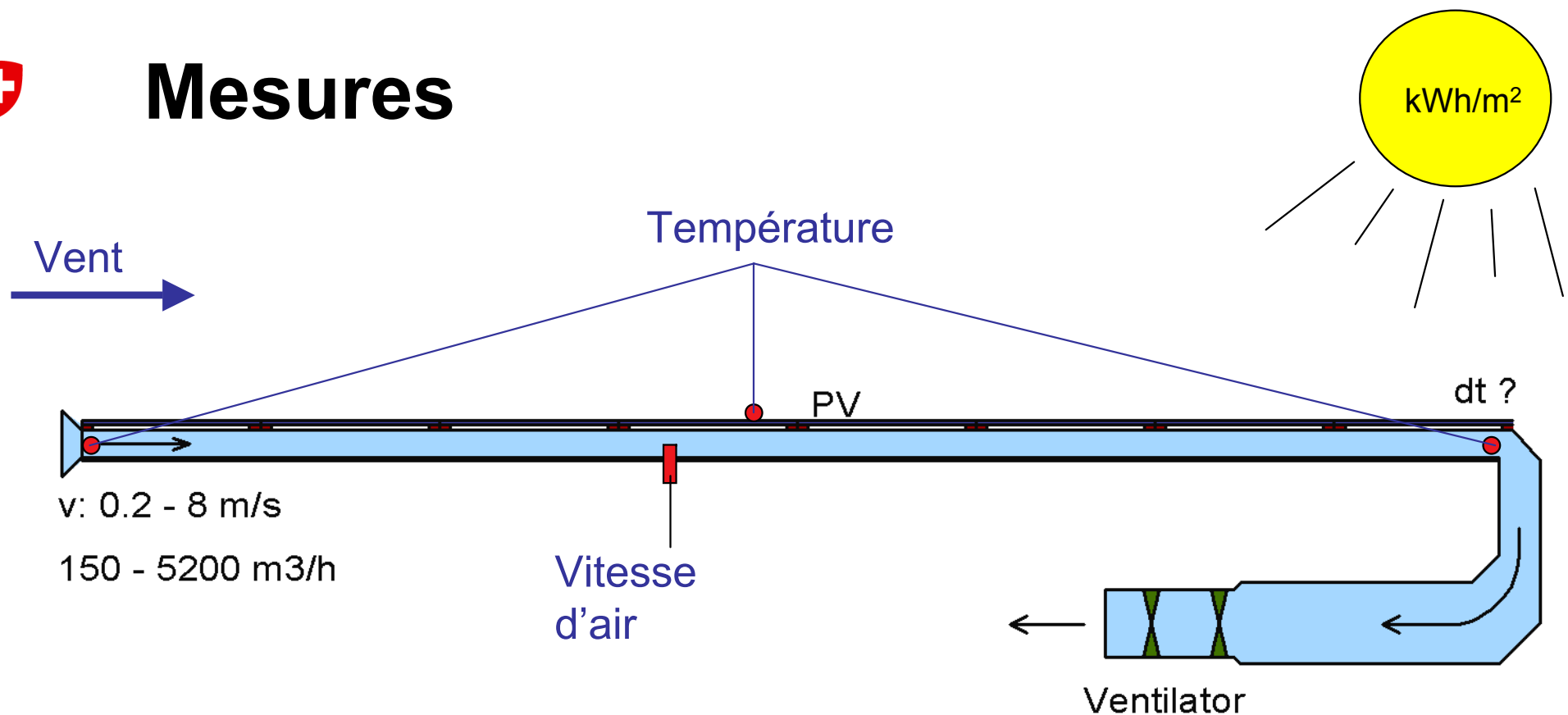


Installation d'essai





Mesures



Rendement électrique et thermique en fonction:

- des conditions extérieures: rayonnement global, vent, élévation et azimuth du soleil
- de la vitesse de l'air (entre sous-toiture + panneaux), température du module

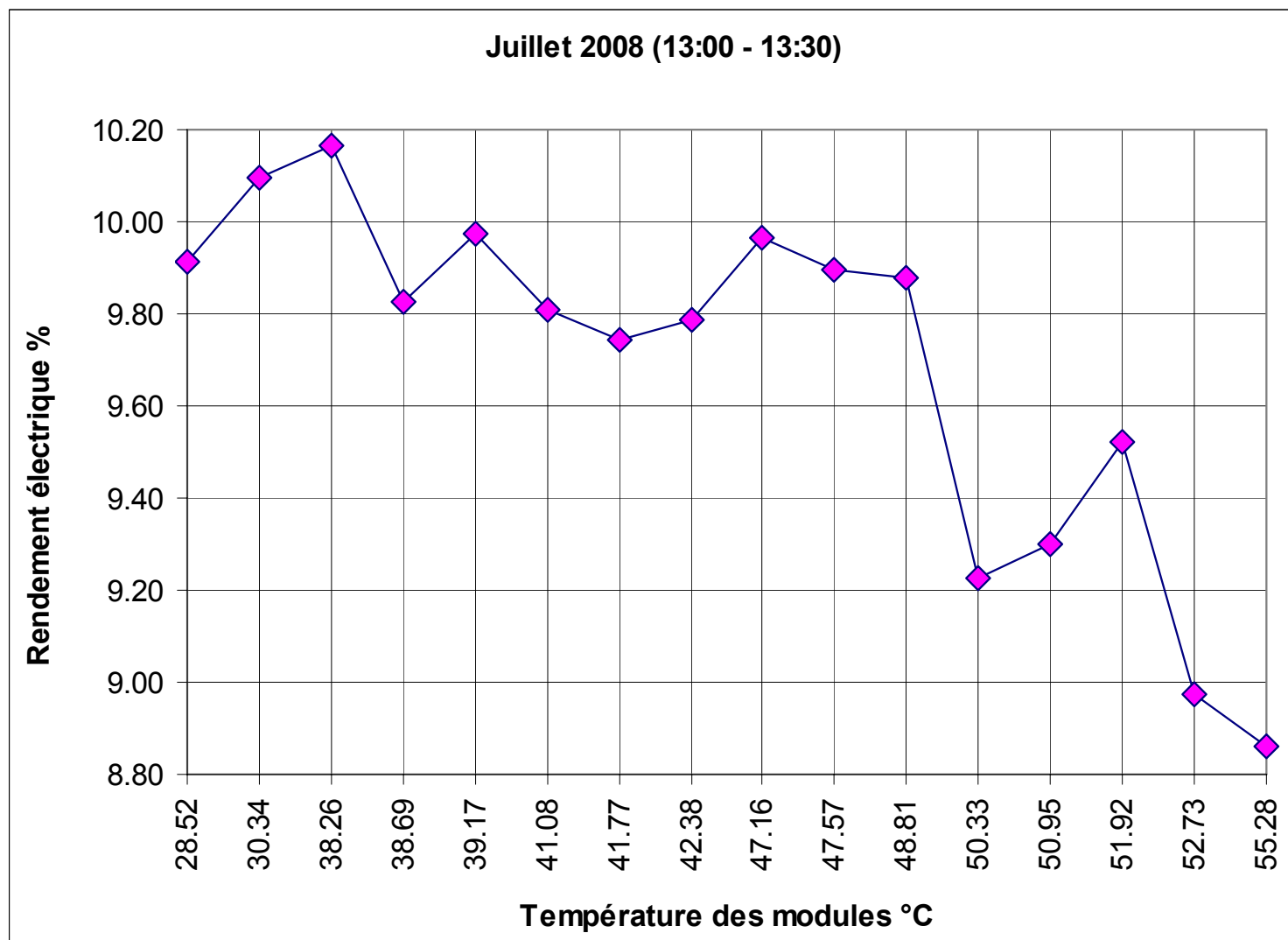


Résultats juillet 2008

Date	Période	Ray. global kWh/m ²	En. élec kWh/m ²	Chaleur kWh/m ²	v canal m/s	Chaleur Courant
8.7	07:53 - 16:45	5,73	0,52	2,46	5,22	4,73
10.7	07:22 - 16:25	7,39	0,65	3,05	2,66	4,69
11.7	10:08 - 16:26	5,84	0,5	2,53	3,6	5,06
15.7	08:13 - 16:08	6,92	0,63	3,99	6,83	6,33
16.7	07:50 - 16:34	7,22	0,66	3,25	4,6	4,92
21.7	08:34 - 16:36	4,63	0,42	1,94	5,33	4,62
23.7	08:10 - 24:00	8,25	0,76	3,81	7,32	5,01
24.7	00:00 - 24:00	8,35	0,77	3,48	6,65	4,52
25.7	00:00 - 16:06	6,65	0,6	2,68	5,24	4,47
28.7	08:12 - 16:45	6,31	0,53	2,35	2,48	4,43
29.7	08:15 - 16:53	6,26	0,54	2,54	4,09	4,70
30.7	08:10 - 16:26	5,89	0,52	2,85	5,17	5,48
31.7	07:58 - 16:22	6,82	0,6	3,47	6,2	5,78
	Moyenne	6,64	0,59	2,95	5,03	4,98

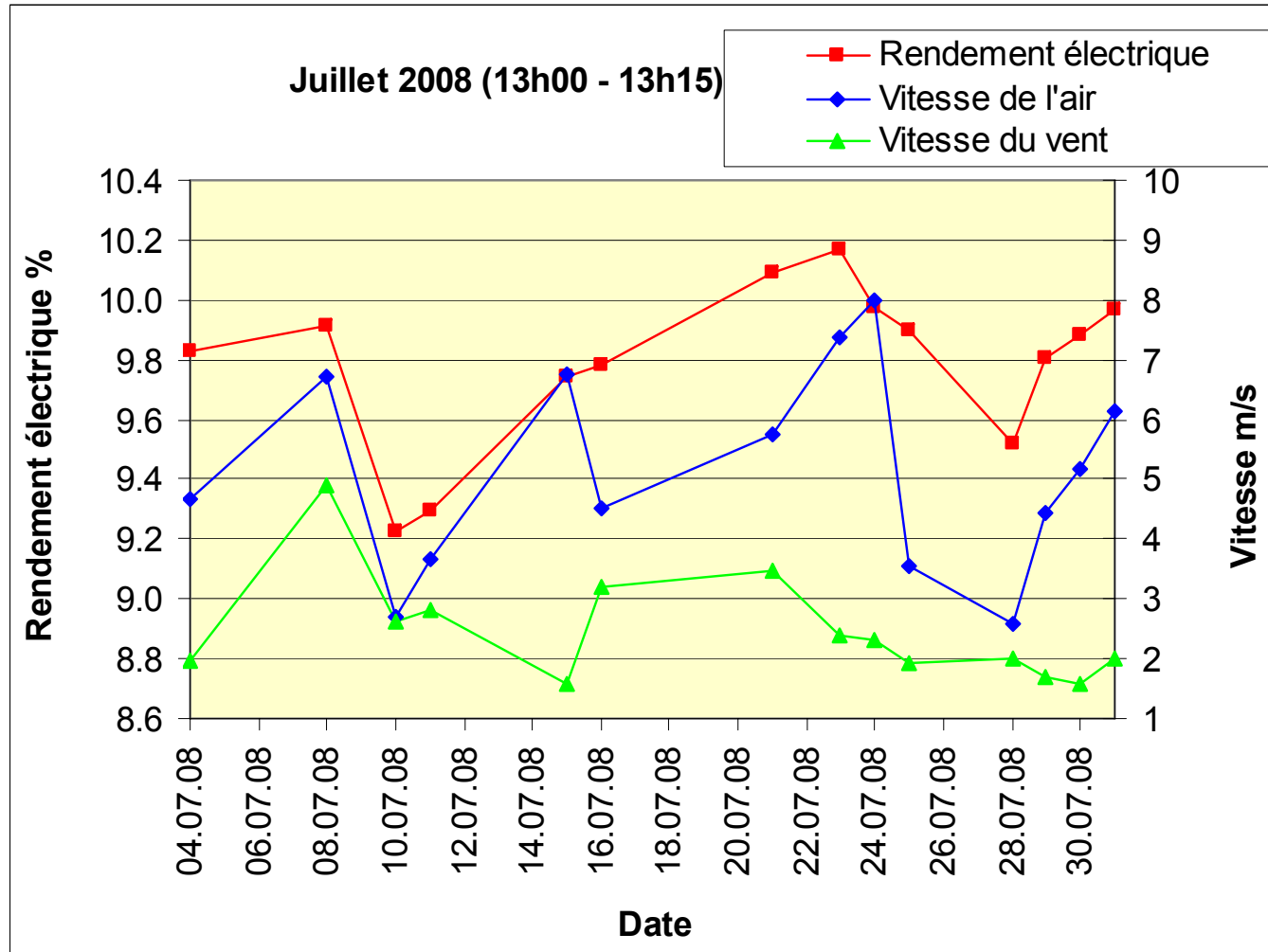


Rendement électrique en fonction de la température des modules





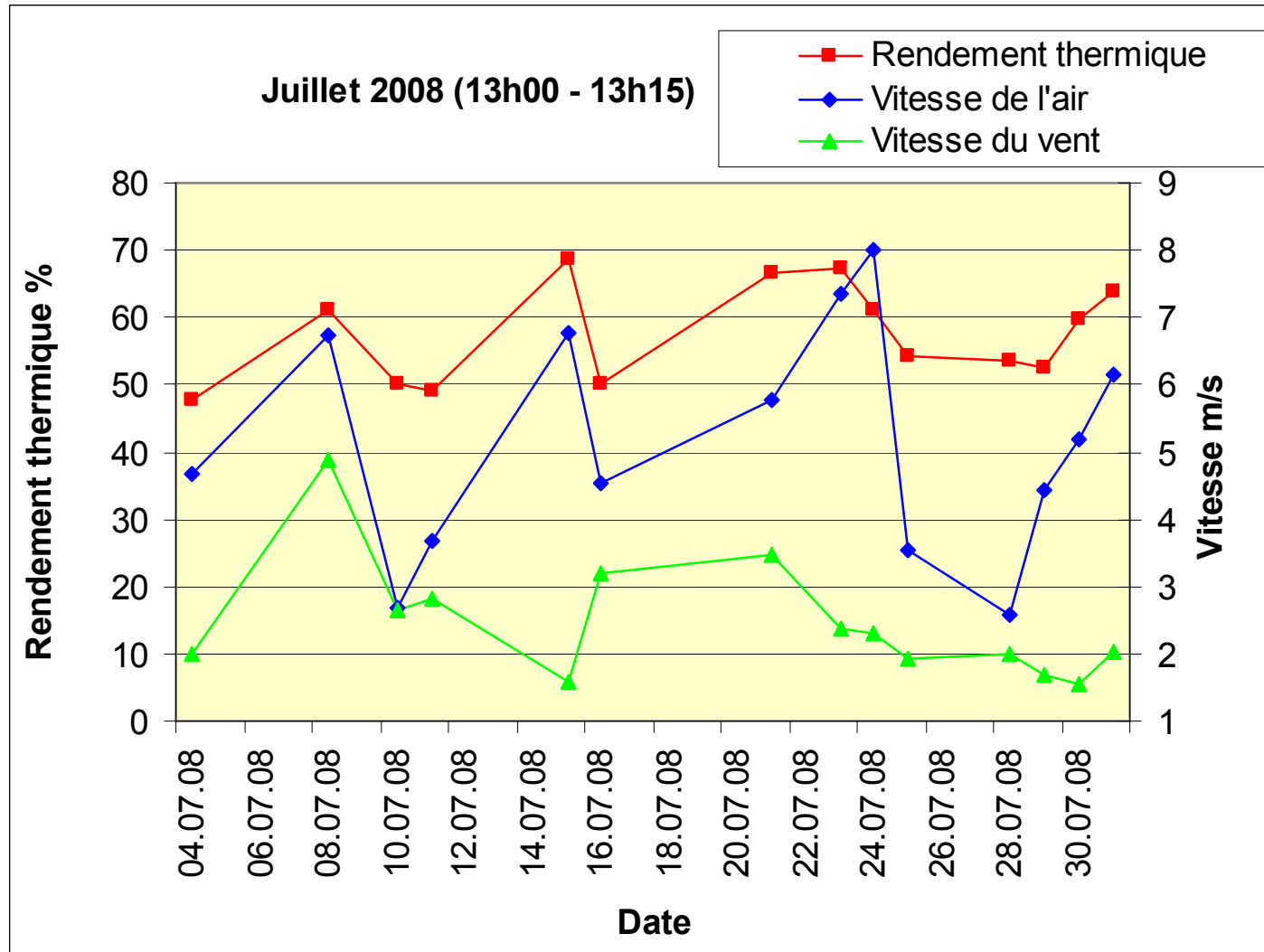
Rendement électrique en fonction de la vitesse de l'air



Le rendement él. baisse de +/- 0.5% par °C d'augmentation de la température PV

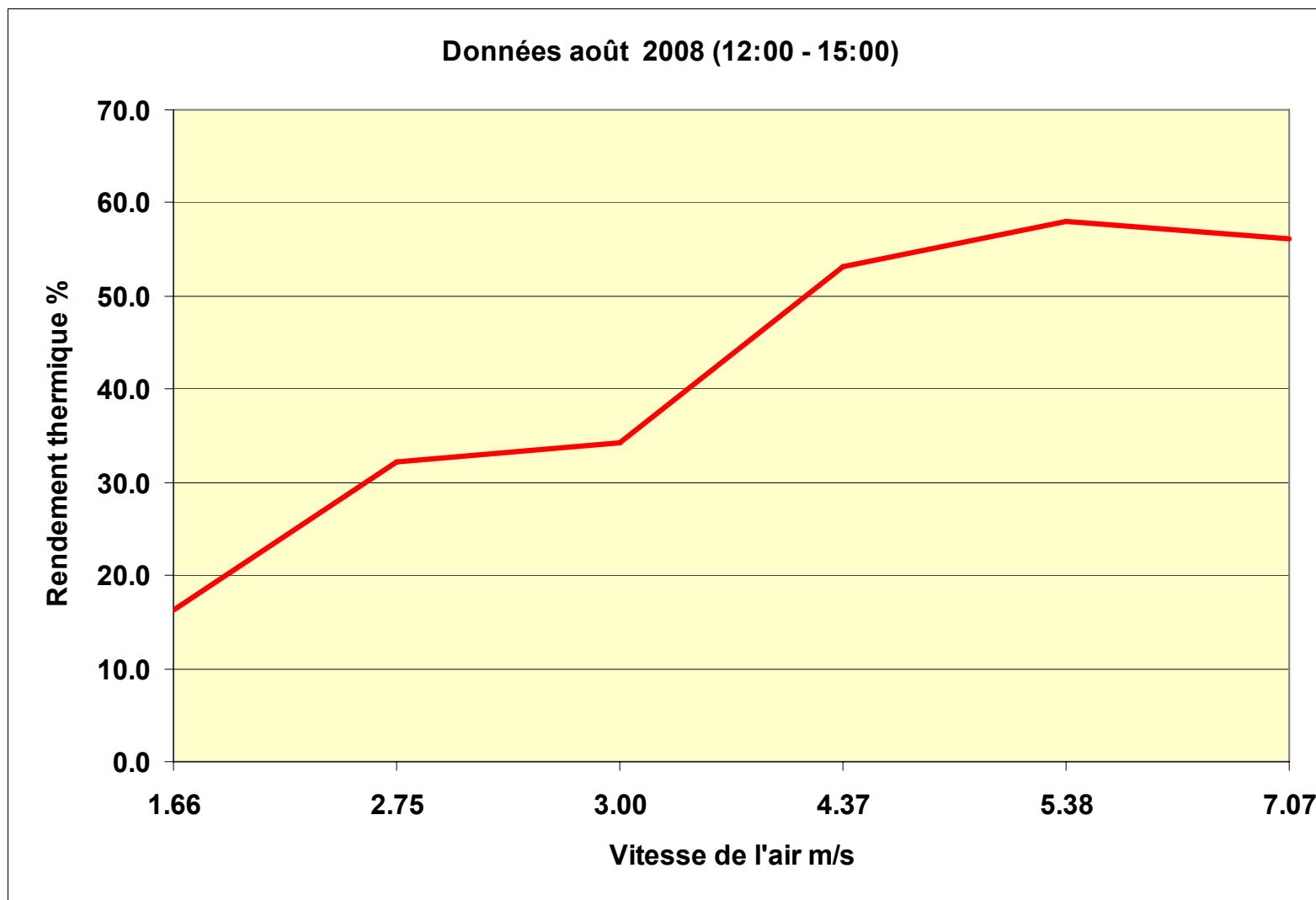


Rendement thermique en fonction de la vitesse de l'air





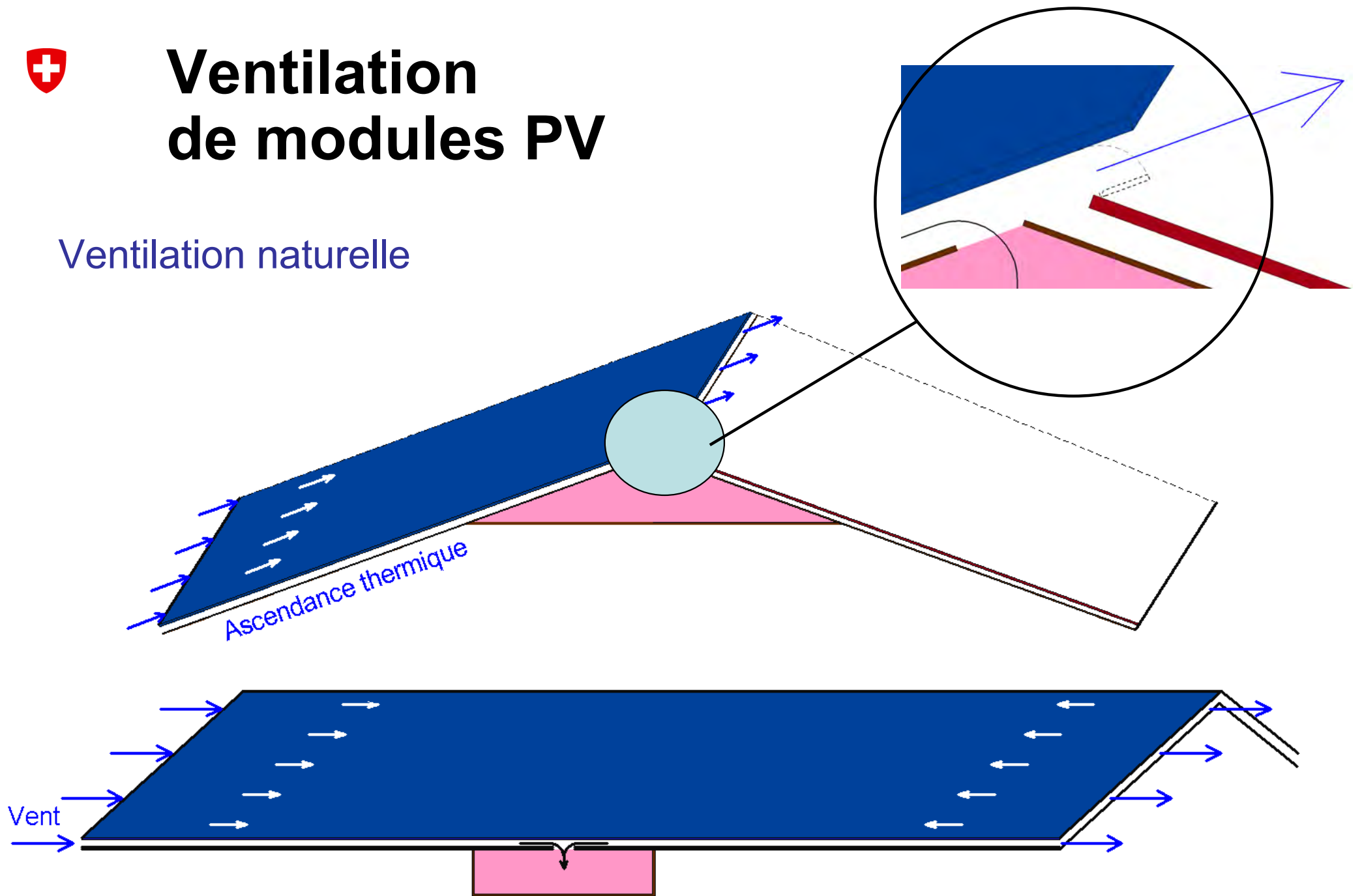
Rendement thermique en fonction de la vitesse de l'air (II)





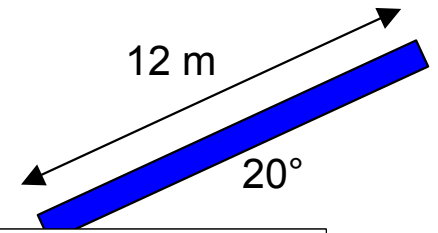
Ventilation de modules PV

Ventilation naturelle

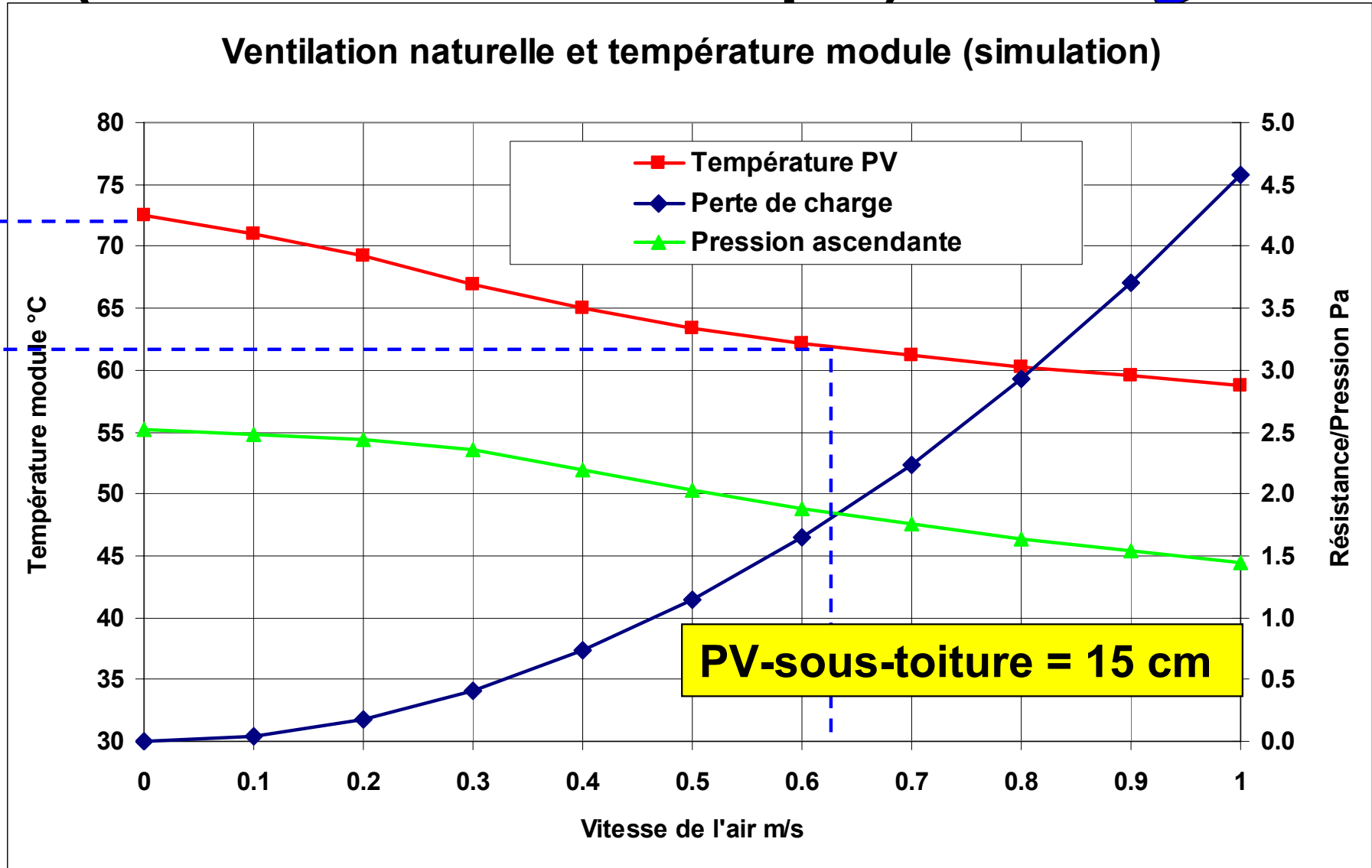




Ventilation naturelle (Ascendance thermique)

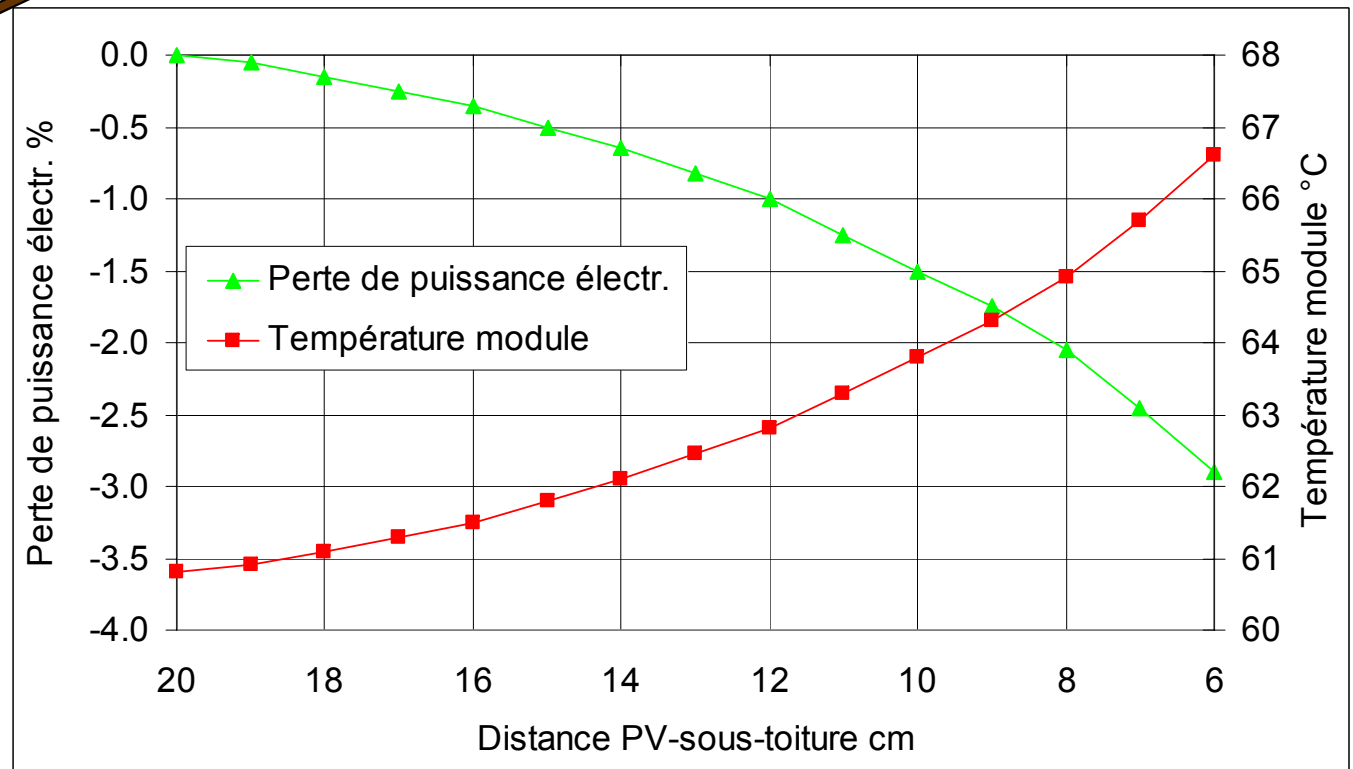
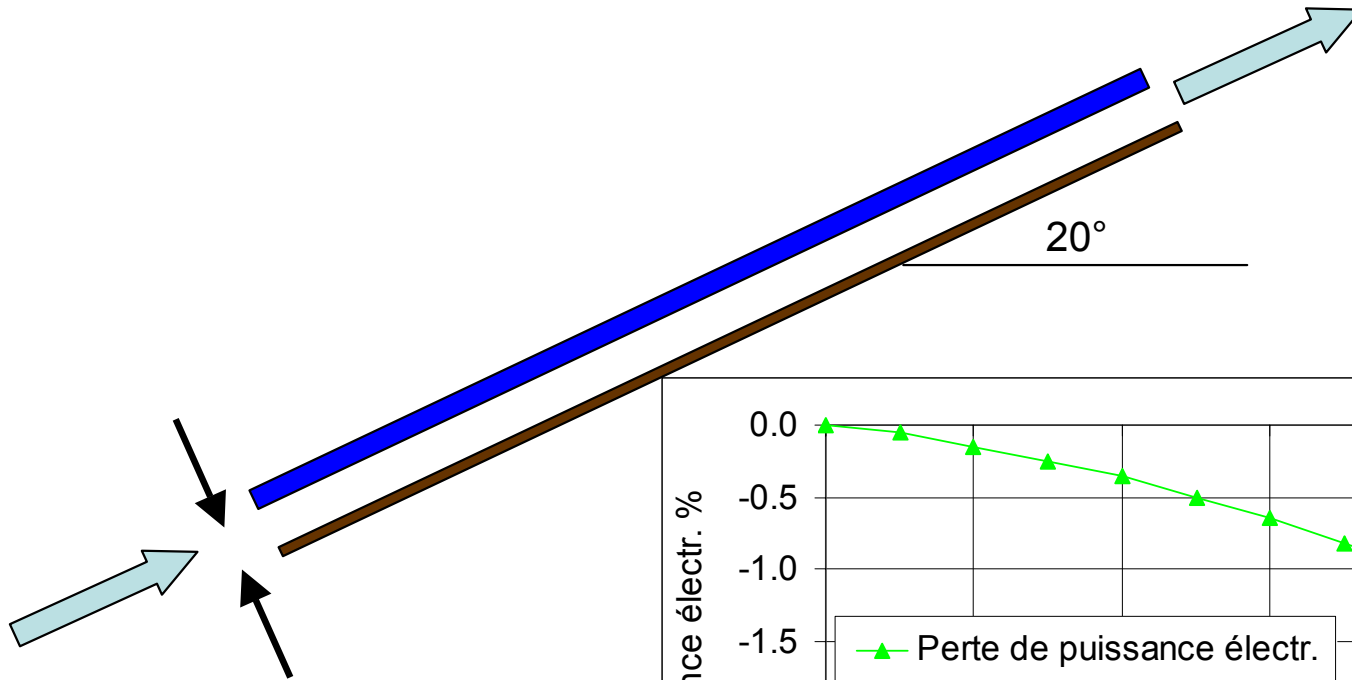


10°





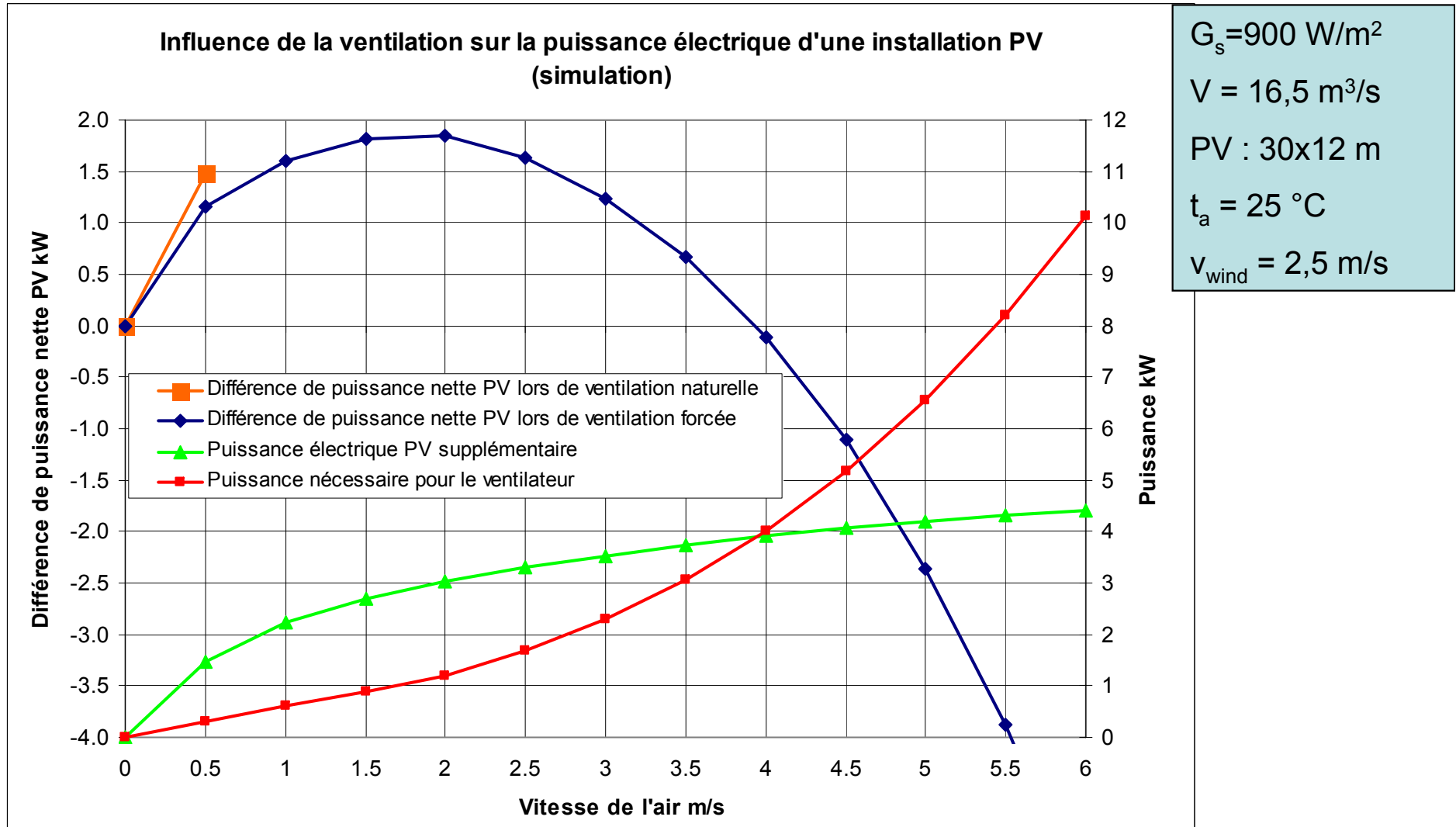
Ventilation naturelle: influence de la distance entre PV et sous-toiture,





Ventilation forcée

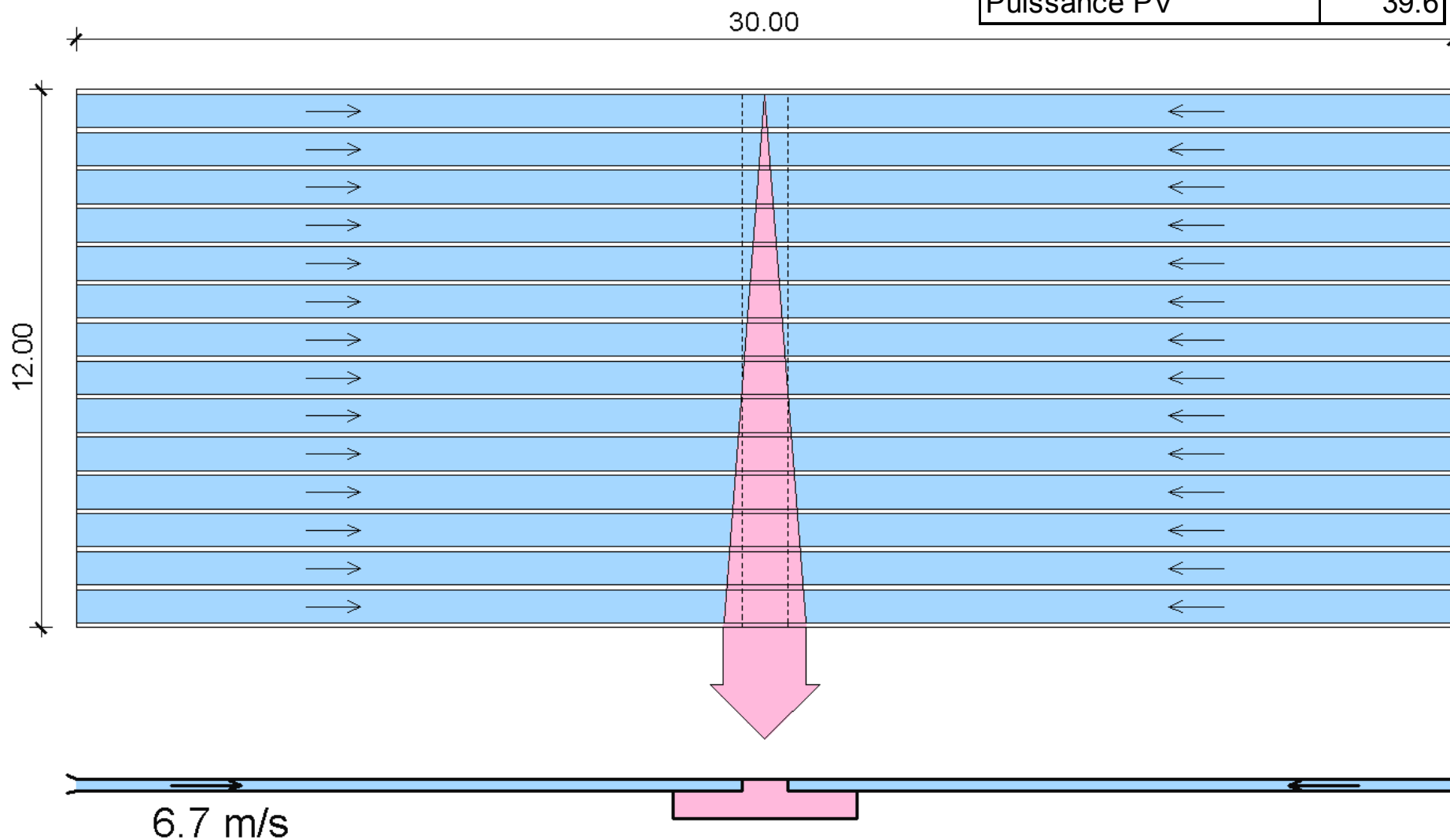
Consommation d'énergie < > production d'énergie (cas-type)





Exploitation de la chaleur d'une installation PV de 360 m² pour le séchage en grange

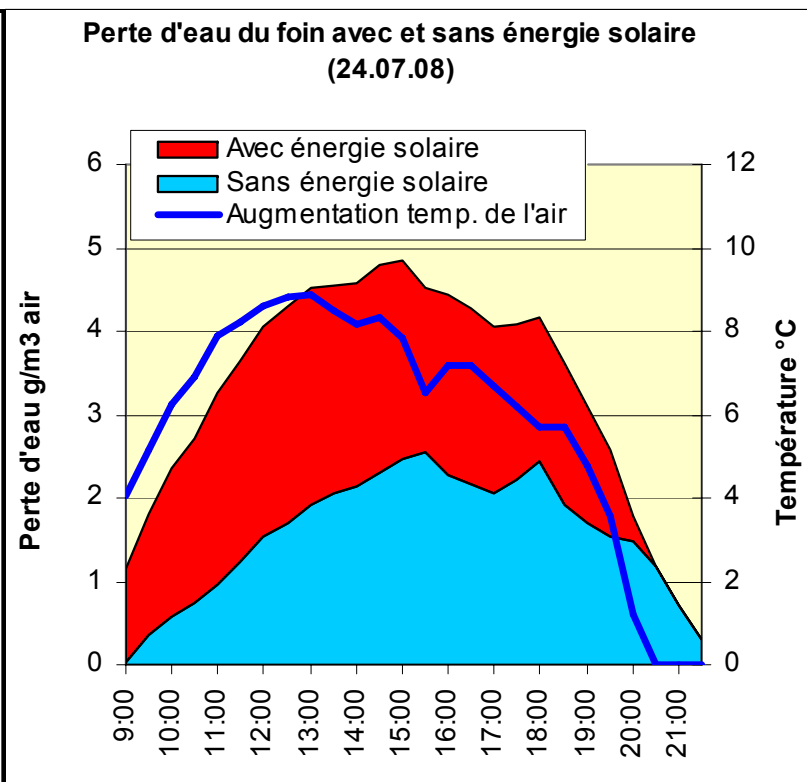
Nombre UGB	50	UGB
Quantité foin kg MS/UGB	3000	kg/UGB
Quantité foin totale	150000	kg
Surface fenil	250	m ²
Débit de vent.	27.5	m ³ /s
Surface PV	360	m ²
Puissance PV	39.6	kWp





Rentabilité de l'exploitation thermique des installations PV pour le séchage en grange

	Sans PV	Avec PV	
% MS du foin avant le séchage	60	60	%
% MS du foin après le séchage	88	88	%
Perte d'eau par kg de foin	0.53	0.53	kgH ₂ O/kgfoin
Perte d'eau totale	79545	79545	kg H ₂ O
Perte d'eau par jour	3928	8266	kg/jour
Durée de séchage nécessaire	20.3	9.6	Jours
Durée de séchage h	243	115	h
Puissance ventilateur (450/525Pa)	23	26	kW
Consommation d'énergie ventil.	5468	3031	kWh
Différence consomm. d'énergie		-2437	kWh
Baisse température module (moyenne journalière)		-10	°C
Augmentation rendement électr.durant le séchage		5	%
Puissance moyenne PV par m ²		57.6	W/m ²
Puissance moyenne PV		20.7	kW
Production de courant supplémentaire par ventil.		120	kWh



	kWh	Fr/kWh	Montant Fr.
Besoin d'énergie pour ventilateur	-2437	0.2	-487
Production d'énergie électr. suppl.	120	0.67	80
Bilan			568



Instrument de planification: programme SOKO

ART-SOKO Dimension des capteurs solaires pour le séchage du foin en grange - Projekt 1

Projet Variante Résultats ?

Projekt 1
Variante 1

Type de capteur Aluminium brun, ondulat...
Nr. de champs de capteur 1

Longueur 1 du capteur 12.00 m
Longueur 2 du capteur 20.00 m

Largeur 1 du capteur 31.50 m
Largeur 2 du capteur 15.00 m

Hauteur max. du chevron 13.0 cm
Représentation Tableau

Tas no		1	2	3	4	5	6	
Base du tas	m ²	102	180	180	180	180	180	180
Hauteur du tas	m	5	5	5	5	5	5	5
Débit d'air du ventilateur	m ³ /s	11.22	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8
Ventilateur en marche	oui/non	oui	non	non	non	non	non	non
Débit d'air par rapport à la surface ...	m ³ /(s*m ²)	0.03	0	0	0	0	0	0
Vitesse de l'air	m/s	0.11	0	0	0	0	0	0
Perte de pression	Pa	500	0	0	0	0	0	0

Champ de capteurs 1

Hauteur du canal capteur	cm	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4
Vitesse de l'air	m/s	2.74	2.97	3.24	3.56	3.96	4.45	5.09	5.94	-	-
Perte de pression	Pa	17	22	28	37	50	70	102	160	-	-
Rendement	%	37.8	39.1	40.5	42.2	44	46.1	48.4	51.1	-	-
Hausse de la température	K	9.1	9.4	9.7	10.1	10.6	11.1	11.6	12.3	-	-

Champ de capteurs 2

Hauteur du canal capteur	cm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vitesse de l'air	m/s	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Perte de pression	Pa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rendement	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hausse de la température	K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Champ de capteurs 3

Hauteur du canal capteur	cm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vitesse de l'air	m/s	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Perte de pression	Pa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rendement	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hausse de la température	K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Champ de capteurs 4

Hauteur du canal capteur	cm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vitesse de l'air	m/s	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Perte de pression	Pa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rendement	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



Conclusions

- L'exploitation combinée (électrique-thermique) d'installations PV permet d'utiliser entre 50 et 70 % de l'énergie solaire globale.
- Le rendement thermique (40–60 %) d'installations PV exploitées de manière combinée est environ cinq fois plus élevé que le rendement électrique (10–12 %).
- Grâce à la ventilation naturelle, les installations PV intégrées dans la toiture ne produisent pas moins de courant que les installations PV montées sur la toiture.
- La ventilation mécanique des installations PV n'est que rarement utile.
- Si l'on exploite la “chaleur dégagée” par l'installation PV pour chauffer l'air, le temps du séchage en grange est divisé par deux.
- Pendant la période de ventilation, la production de courant solaire augmente de 3 à 10 %.