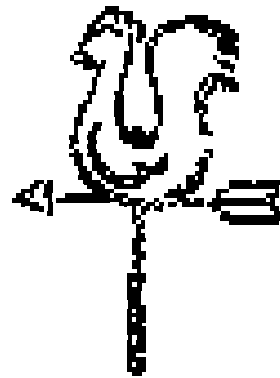


AVIS

- Ce document peut être distribué gratuitement.
- Il est à titre indicatif seulement.
- L'objectif de celui-ci est d'initier le lecteur aux aspects reliés à l'ingénierie des serres.
- Vous avez des commentaires ou des questions, contactez Marco Girouard, ing. au CIDES
 - ◆ Téléphone: (450) 778-3492
 - ◆ Courriel: info@cides.qc.ca

Séminaire sur la ventilation et les systèmes de refroidissement en serre

présenté par le



avec la collaboration du

MAPAQ

et du

Club Savoir Serre

Animateurs

Jean-Marc Boudreau, ing.

Marco Girouard, ing.

4 février 2004



La ventilation C'est quoi?

- Échange d'air entre la serre et l'extérieur

But:

- ◆ Homogénéiser la température, humidité et le CO_2
- ◆ Évacuer la chaleur ou encore l'humidité excédentaire



La ventilation

Comment l'exprimer?

- ◆ **Taux de renouvellement d'air « R »**

$$R = \frac{\text{Volume d'air échangé}}{\text{Volume de la serre} \times \text{heures}} = \frac{m^3}{m^3 \cdot h}$$

- ◆ **Ventilation par surface de plancher « V »**

$$V = \frac{\text{Volume d'air échangé}}{\text{Surface}_{\text{Serre}} \times \text{heures}} = \frac{m^3}{m^2 \cdot h}$$

La ventilation

Étanchéité de la serre

- Variable d'une serre à l'autre
 - ◆ Fuites aux niveaux des joints
 - ◆ Types de construction
- ↑ fuites → vent élevé et ventilation interne
- Rendre la serre la plus étanche possible
 - ◆ Pourquoi?
 - ☞ Diminution des coûts de chauffage
 - ☞ Homogénéisation du climat et CO₂

Infiltrations d'air et types de serre

Type de serre	Taux de renouvellement d'air
Double polyéthylène	0,5 à 1,0
Acrylique ou panneaux de polycarbonate	1,0
Verre – Nouvelle construction	0,75 à 1,5
Verre – Vieille construction en bonne condition	1 à 2
Verre – Vieille construction en mauvaise condition	2 à 4

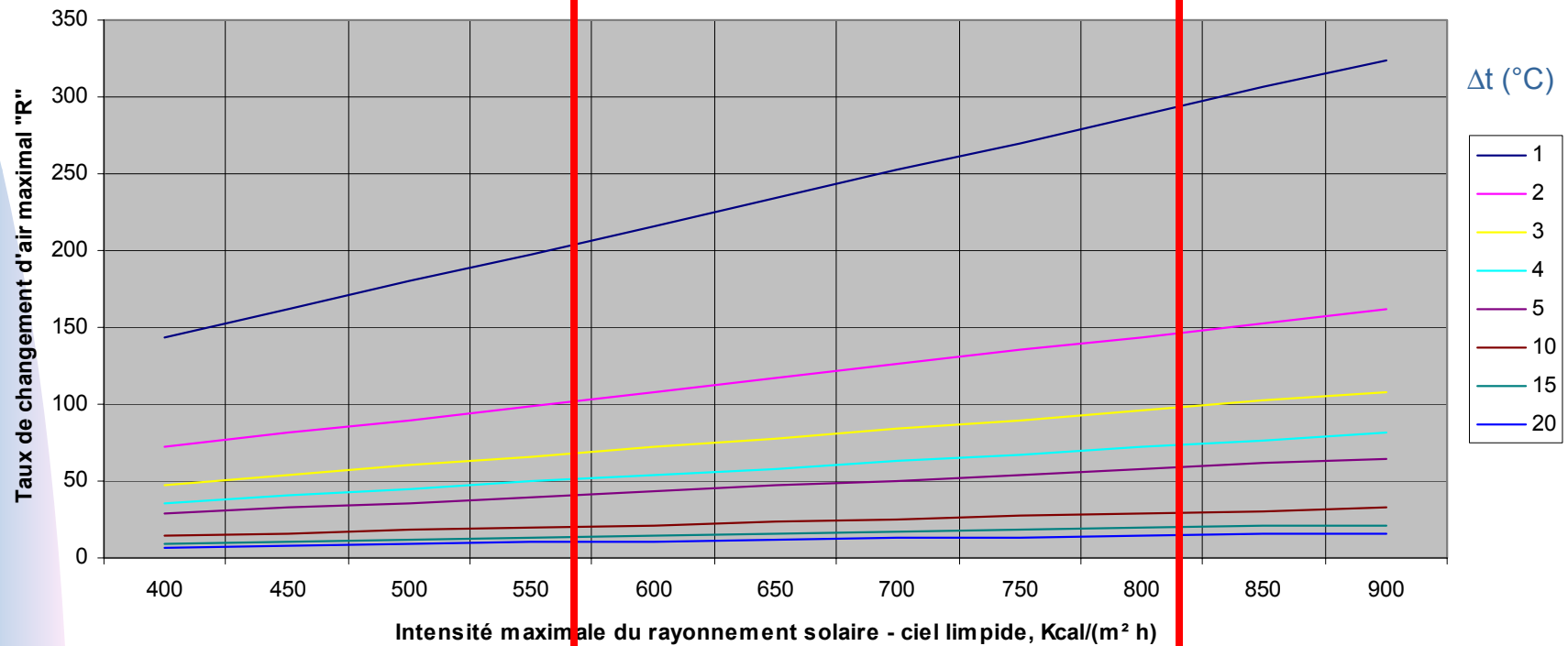
À surveiller!

- Ça fait quoi une serre étanche?
 - ◆ ↑ humidité
 - ◆ ↑ risques de toxicité

- Quoi faire pour éviter les problèmes?
 - ◆ Avoir un système de ventilation et un système de contrôle
 - ◆ Maintenance des équipements

Estimation des besoins de ventilation

Estimation des besoins de ventilation
d'une serre de plastique cultivée bien arrosée selon l'écart de température
entre l'extérieur et l'intérieur de la serre en Celsius



Automne et printemps

Été

Ventilation Forcée – Fan-Jet

- Perçage des trous:
 - ◆ Diamètre des trous → 2" à 3"
 - ◆ Par paires à égale distance sur la longueur du tube
 - ◆ Jet d'air ne doit pas frapper le polyéthylène du toit de la serre, ni directement les plants

		Diamètre des trous (po)					
		1,00	1,50	2,00	2,50	2,75	3,00
Diamètre - Section du tube (po)	4,75	16	7	4	3	2	2
	8,00	45	20	11	7	6	5
	12,00	101	45	25	16	13	11
	14,00	137	122	34	22	18	15
	18,00	227	101	57	36	30	25
	24,00	403	179	101	65	53	45
	30,00	630	280	158	101	83	70

Ventilation Forcée – Fan-Jet

- Comment percer les trous?
 - ◆ Utilisez un tube de métal (tuyau d'échappement ou un tuyau de cuivre) avec une tige que vous chaufferez à l'aide d'un chalumeau
 - ◆ Marquez l'emplacement des trous, puis gonflez le tube et procédez
 - ◆ Percez 90% des trous la première fois et vérifiez si la pression du tube est bonne. Si c'est le cas, complétez le travail.

Note: Si les volets sont fermés, on peut les utiliser pour faire recirculer l'air dans la serre. Cependant, ce n'est pas aussi efficace que les HAF

Ventilation naturelle

Types d'ouvertures



Côté ouvrant



Mur enroulable



Ouverture au faîte



Panneau d'entrée d'air



Ouverture à la gouttière

Ventilation naturelle

Ratio d'ouverture

$$\text{Ratio d'ouverture} = \frac{\text{Surface totale des ouvertures}}{\text{Surface du sol de la serre}}$$

Type de serre	Ratio d'ouverture optimum
Grands tunnels	15% à 20%
Serres jumelées	25% à 33%

Source : La construction des serres et des abris; CTIFL

Le taux de renouvellement d'air est proportionnel au ratio d'ouverture. Au-delà d'une certaine valeur, une plus grande ouverture aura moins d'impact.

Ventilation naturelle

Localisation des ouvrants

Type de serre	Commentaires
<ul style="list-style-type: none"> ■ Tunnels ■ Serres individuelles 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Vent < 4 km/h : associer des ouvertures en faîtage à des ouvertures latérales (rapport 1,5 à 1) ■ Vent > 4 km/h : une ouverture en faîtage est suffisante ■ Lors d'ouvertures sur le côté, il ne faut pas créer un courant d'air qui va stresser les plants par une ouverture trop grande ou trop basse
<ul style="list-style-type: none"> ■ Serres jumelées 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Aération au faîtage sur chaque côté <ul style="list-style-type: none"> ◆ Vent nul ou faible : ouverture sur les deux côtés ◆ Vent modéré : ouverture sur le côté opposé au vent ◆ Vent fort : ouverture limitée et ou encore fermée ■ On peut combiner les ouvrants au toit et les ouvrants sur le côté, mais l'effet est limité à deux chapelles

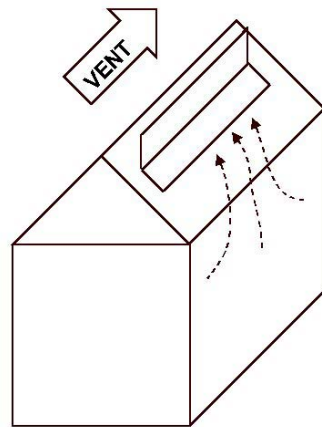
Source: CTIFL

Ventilation naturelle

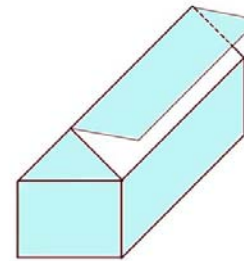
Trucs et autres

- Attention à l'orientation de la serre → pour éviter une entrée d'air trop brusque
- Combinaison des ouvrants de toit et des ouvrants de côté → possibilité de moduler la ventilation
- Peu utilisé lorsque la température extérieure est inférieure à -5°C , car l'air froid tombe trop directement sur les plants. De plus, l'air chaud par les volets peut engendrer du givre empêchant le mouvement normal des ouvrants
- Maintenance → Ajuster les volets et les ouvrants au besoin

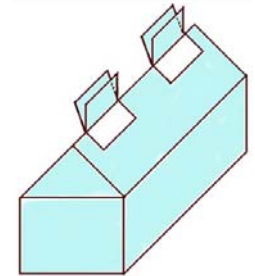
Ventilation naturelle Ouvrant par le toit



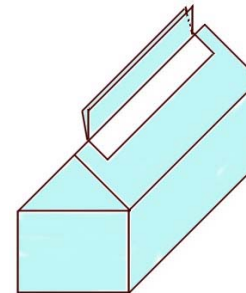
Principe de fonctionnement →
phénomène d'aspiration



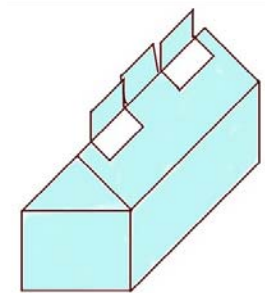
À la gouttière



Au faîte - Opposée



Au faîte - Continue



Au faîte - Alternées

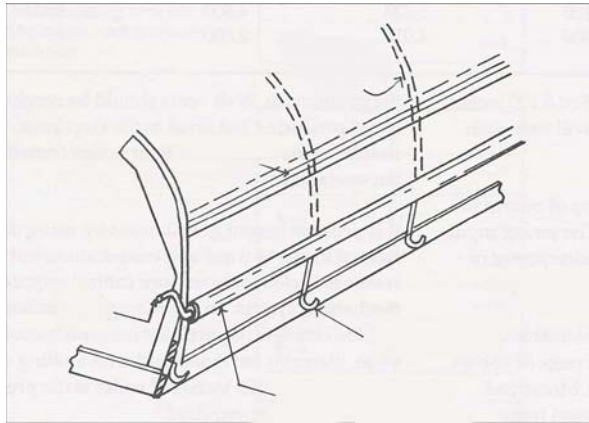
Ventilation naturelle Ouvrant par le toit - Trucs

- Où l'installer?
 - ◆ Côté opposé aux vents dominants
 - ◆ Souvent sur le côté nord → opposé aux vents dominants, rayons du soleil ne peuvent frapper directement les plants
- Combien?
 - ◆ Une par chapelle
 - ◆ Surface des ouvrants $> 1.15 \times$ Surface de plancher
- Installation et maintenance
 - ◆ Solidement fixés et ajustés régulièrement

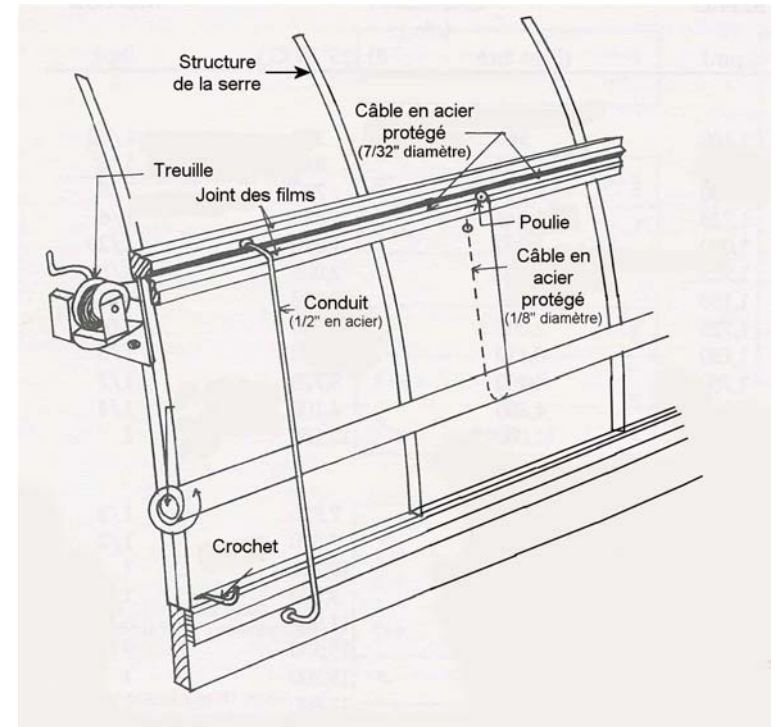
Ventilation naturelle Ouvrant sur le côté

Mur enroulable

Section protégée : du haut vers le bas

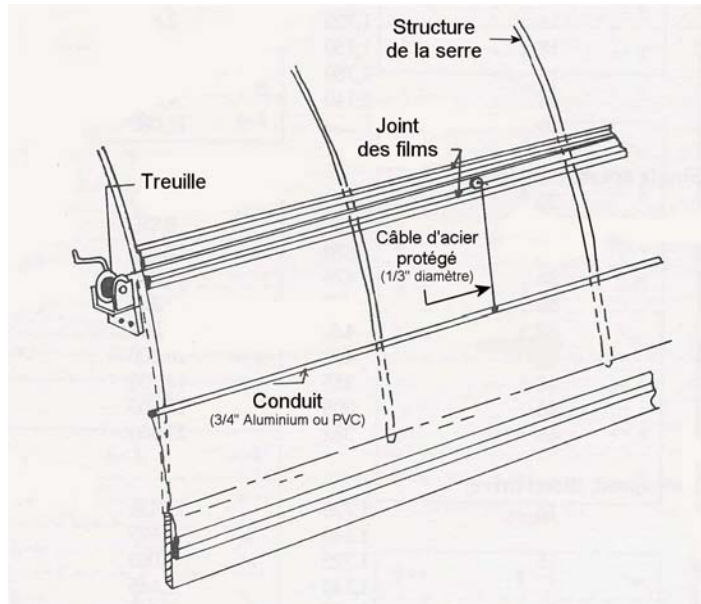


Modèle « A »



Modèle « B »

Ventilation naturelle Ouvrant sur le côté



Source : Adaptation de Greenhouse engineering NRAES-33

Mur enrollable

Section protégée: du bas vers le haut

Minimise l'arrivée de l'air froid et de sa vitesse sur les plants par rapport aux modèles précédents



Côté ouvrant

Ventilation et les moustiquaires

- **Impacts:**
 - ◆ ↓ l'échange d'air avec l'extérieure
 - ◆ ↑ de la température
- **Quoi faire pour compenser?**
 - ◆ ↑ surface d'entrée d'air de 3 à 5 fois
 - ◆ Installer un moteur de ventilateur plus puissant
 - ◆ Ajouter d'autres ventilateurs
- **Modification en fonction de quoi?**
 - ◆ Largeur des mailles
 - ◆ Capacité existante des ventilateurs
 - ◆ Différence entre la pression de l'air à l'intérieur et l'extérieur de la serre lorsque les ventilateurs sont en marche



Ventilation et les moustiquaires

- Quoi faire pour préserver l'efficacité du système?
 - ◆ Maintenir la propreté des moustiquaires
 - ◆ Avoir un compartiment à deux portes pressurisé pour entrer dans la serre, limitant ainsi l'entrée d'insectes indésirables



Ventilation et les HAF

- But: ↑ l'homogénéité du climat
- Nos besoins → 3 à 4 CFM à « air libre » par pi^2 de plancher de serre



Ventilation et les HAF Installation

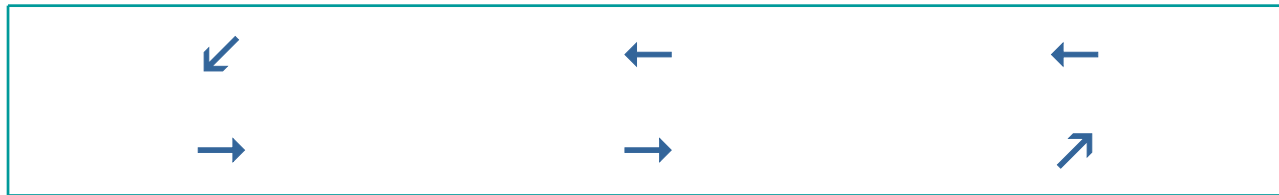
- Relier les HAF d'une même section de serre ensemble → Pour les arrêter lors des fumigations ou des pulvérisations
- Préférer si possible plusieurs petits appareils à quelques gros → Plus uniforme
- Rechercher des moteurs efficaces
- Vérifier périodiquement leur efficacité → vitesse d'air sur 80% de la surface entre 0,2 et 1.0 m/s
- Sécurité et maintenance
 - ◆ Ventilateurs devront être munis de grilles de protection
 - ◆ Effectuer la maintenance selon les recommandations du fabricant
 - ◆ Nettoyer les pales une fois l'an

Ventilation et les HAF

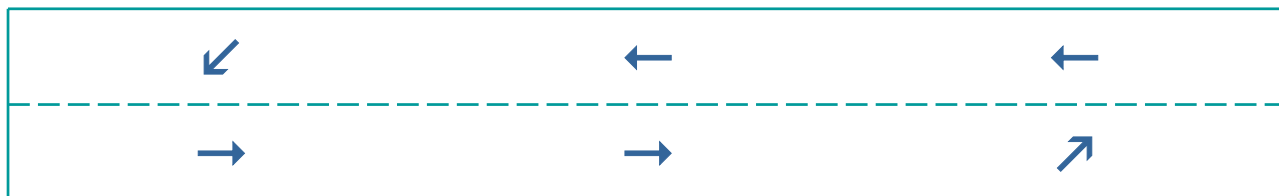
Installation (suite)

- Chapelles = 6 à 12 m de long
- Ajouter une rangée de ventilateurs à tous les 4.5 m
- Installer les ventilateurs au centre des chapelles et à une distance minimale de 1.3 m à chaque extrémité de la serre
- Attention aux serres qui ne possèdent pas une hauteur uniforme

Serres individuelles



Deux chapelles



Ventilation et les HAF

Installation (suite)

Trois chapelles

↙	←	←
→	→	↗
↖	←	←

Quatre chapelles

↙	←	←
→	→	↗
→	→	↘
↖	←	←

Ventilation et les HAF

Installation (suite)

Cinq chapelles

↙	←	←
→	→	↗
→	→	↗
→	→	↘
↖	←	←

Ventilation et les HAF

Installation (suite)

Six chapelles

↙	←	←
→	→	↗
→	→	↘
↖	←	←
↙	←	←
→	→	↗

Ventilation et les HAF

Installation (suite)

Sept chapelles

↙	←	←
↙	←	←
→	→	↗
→	→	↗
→	→	↘
→	→	↘
↖	←	←
↖	←	←

Ventilation et les HAF

Installation (suite)

Huit chapelles

→	→	↘
↖	←	←
↙	←	←
→	→	↗
→	→	↘
↖	←	←
↙	←	←
→	→	↗

Ventilation et les HAF Installation (suite)

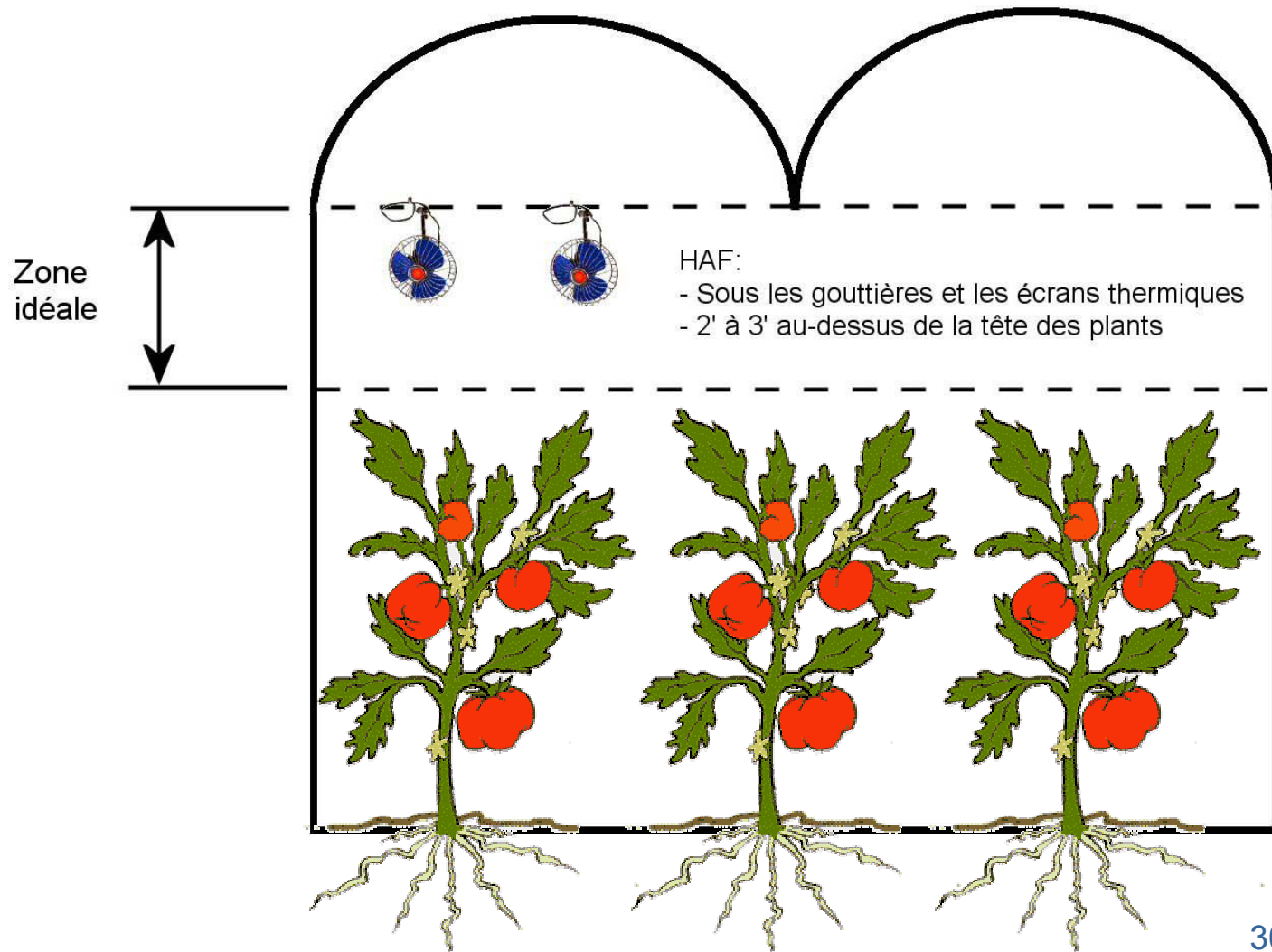
Neuf chapelles

→	→	↘
↖	←	←
↙	←	←
→	→	↗
→	→	↗
→	→	↘
→	→	↘
↖	←	←
↙	←	←
→	→	↗

Source: Greenhouse Engineering NRAES-33

Ventilation et les HAF

Installation (suite)



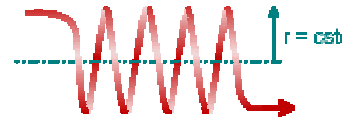
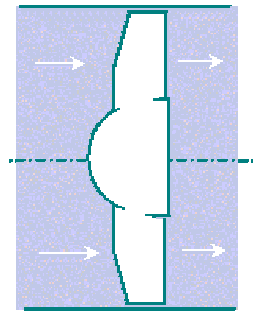
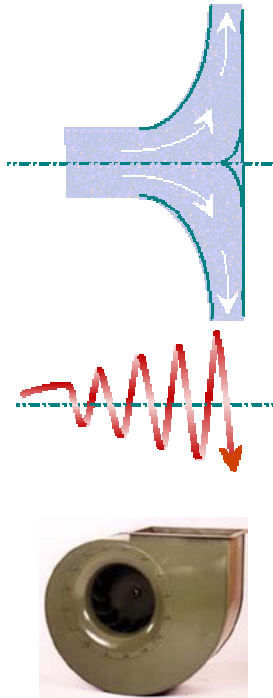
Ventilation - ventilateurs

À quoi pouvons-nous comparer un ventilateur?

Réponse - Pompe à air

Centrifuge

- Ces ventilateurs fonctionnent à dépression constante quel que soit le débit, sur une plage donnée. L'entrée d'air est perpendiculaire à la sortie d'air.
- Utilisation – requis pour contrer une pression statique élevée



Axial

- Ces ventilateurs, ont la caractéristique de fonctionner à débit quasiment constant quelle que soit la dépression amont/aval du ventilateur, sur une plage donnée. L'entrée est sur le même axe que la sortie d'air.
- Ce modèle est principalement utilisé dans les serres

Ventilation - ventilateurs

Lois

$$CFM_2 = CFM_1 \times \frac{N_2}{N_1} \quad \rightarrow \text{Débit} \propto \text{Vitesse du ventilateur}$$

$$P_{\text{statique}_2} = P_{\text{statique}_1} \times \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 \quad \rightarrow \text{Pression statique} \propto (\text{Vitesse du ventilateur})^2$$

$$HP_2 = HP_1 \times \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^3 \quad \rightarrow \text{Puissance} \propto (\text{Vitesse du ventilateur})^3$$

Ventilation - ventilateurs

- **Comment choisir le bon ventilateur?**
 - ◆ Connaître le nombre de CFM
 - ☞ Ventilation d'extraction et ventilation forcée → Vérifier avec les tables du fabricant la capacité du ventilateur selon une pression statique donnée (1/8" ou 1/10" d'eau)
 - ☞ Cooling Pad → Pression statique plus élevée
 - ☞ HAF → Vérifier avec les tables du fabricant la capacité du ventilateur à l'air libre
 - ◆ Regarder l'espace disponible
 - ◆ Connaître le niveau de bruit permis
 - ◆ Choisir un moteur résistant à l'humidité

Ventilation et ventilateurs

- Avez-vous pensé à...
 - ◆ votre portefeuille
 - ☞ Rechercher un ventilateur qui aura un ratio supérieur à 15 CFM par Watt
 - ◆ vos employés
 - ☞ Sélectionner un modèle où le niveau de bruit sera confortable pour les employés

Ventilation et ventilateurs

SIZE, DIA.	SPEED	CAPACITY		MOTOR
(in.)	(rpm)	(Free air)	(0.125" W.G.)	(hp)
Single speed, direct driven:				
10	1,100	560	380	1/20
10	1,725	910	840	1/6
12	1,150	1,240	780	1/8
12	1,725	1,640	1,525	1/6
14	1,050	1,250	1,020	1/20
14	1,725	2,100	2,005	1/6
16	1,150	2,630	2,190	1/6
16	1,725	2,800	2,680	1/4
18	1,150	3,110	2,620	1/6
18	1,750	4,130	3,720	1/2
24	1,140	4,400	4,100	1/4
30	860	11,000	10,150	1
Single speed, belt driven:				
30	650	8,570	7,520	1/8
30	650	8,570	7,520	1/2
30	670	12,100	10,700	1
36	476	10,900	9,550	1/2
36	505	14,200	11,900	3/4
42	420	15,300	13,330	3/4
42	462	16,800	15,200	1
42	385	14,700	11,800	1/2
48	308	17,500	13,400	1/2
48	382	21,400	18,900	1
Two speed, direct drive:				
16	1,725	2,5432	2,353	1/3
	1,140	1,675	1,374	
18	1,725	4,065	3,880	5/8
	1,140	2,686	2,395	
24	1,100	5,520	4,800	1/3
	800	4,010	2,800	

Source: Greenhouse Engineering NRAES-33

Ventilation

L'effet du vent sur les ventilateurs

L'air sortant du ventilateur → Même direction que les vents dominants

Effet du vent sur la pression statique. Ventilateur contre le vent sans déflecteur ou capot.

Vitesse du vent (km/h)	Pression statique (pouce d'eau)
8	0.02
16	0.05
24	0.10
32	0.20
40	0.28

Ventilation et ventilateurs - Impacts

- Pas assez puissant → Pas de contrôle sur le climat
- Trop puissant → Stresse les plantes, \$\$\$
 - ◆ Stress → 200 pieds par minute (1 m/s)

Ventilation et ventilateurs

	Été	Automne Printemps	Hiver	Humidité
Ventilateur d'extraction	x	x		
Fan-Jet			x	x
Pression positive			x	?

Ventilation et ventilateurs

Type	CFM par pi ² de surface de plancher de serre
HAF	3 à 4 (air libre)
Fan-Jet	1
Pression positive	1

	Printemps - Automne	Été
CFM par pi ² de surface de plancher de serre	3 à 5	10
Commentaires	Peut être la première vitesse d'un ventilateur à 2 vitesses	Peut être la deuxième vitesse d'un ventilateur à 2 vitesses
Surface de la prise d'air	0.6% à 1% surface de la serre	2% de la surface de la serre
	Répartie au prorata des débits des ventilateurs	

Ventilation Naturelle ou Forcée

	Naturelle	Forcée
+	<ul style="list-style-type: none"> ■ \$ ■ Bonne uniformité ■ Pas de limite concernant la longueur des serres 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ne dépend pas des conditions climatiques ■ Constante et précise ■ Plus grande capacité
-	<ul style="list-style-type: none"> ■ Dépendance aux conditions climatiques (pluie, neige, verglas et vent) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Longueur des serres < 150' (\cong 46 mètres) ■ Panne électrique → génératrice ■ \$\$\$

Maintenance

La maintenance, c'est quoi?

- Satisfaire les besoins...
 - ◆ Production → efficient (connaissance, historique, procédures, amélioration des interventions)
 - ◆ Propriétaire (sécurité, coût optimum d'utilisation, gestion)
 - ◆ Employés (faciliter sa maintenance, responsabiliser, motiver)

Maintenance ≠ Entretien

**Maintenance → prévention, correction
(revue de nos interventions, analyse de la
panne), atteinte des objectifs**

Maintenance – Une approche

Serriculteur → Médecin

Maintenance → Médecine des machines

Santé de l'homme		Santé-machine	
<ul style="list-style-type: none"> ■ Connaissance de l'homme et des maladies ■ Carnet de santé ■ Dossier médical ■ Diagnostic, examen, visite ■ Connaissance des traitements ■ Traitement curatif ■ Opération 	Naissance	Mise en service	<ul style="list-style-type: none"> ■ Connaissance technologique et des bris possibles ■ Historique (données pour l'achat → rebut) ■ Dossier machine ■ Diagnostic, expertise, inspection ■ Connaissance des actions curatives ■ Dépannage, réparation ■ Rénovation, modernisation, échange-standard
	Longévité	Durabilité	
	Bonne santé	Fiabilité	
	Mort	Rebut	
Médecine		Maintenance	

Source: Adaptation – F. Monchy

Ventilation et ventilateurs - Maintenance

1. Vérifier les roulements à bille des ventilateurs et des moteurs (surchauffe ?). Remplacer et lubrifier au besoin
2. Vérifier l'alignement des poulies
3. Vérifier la tension des courroies. Contactez le fabricant pour connaître la déflexion acceptable pour vos ventilateurs. Généralement, une déflexion de $\frac{3}{4}$ " à 1" est autorisée. Une tension faible peut :
 - Diminuer l'efficacité du ventilateur
 - Engendrer un glissement de la courroie
 - Endommager la courroie
4. La courroie doit être :
 - propre (la nettoyer avec un linge propre)
 - sans trace d'huile (surtout minérale) ou de graisse
 - protégée du soleil
 - appropriée au modèle du ventilateur

Ventilation et ventilateurs - Maintenance

5. Enlever la poussière sur toutes les composantes des ventilateurs (moteur, pales, boîtier, grille de protection). L'idée est de prévenir les vibrations et les obstructions pour ne pas le débalancer.
6. Pour les volets, vérifier :
 - le mécanisme d'ouverture et de fermeture
 - l'étanchéité des joints lorsque ceux-ci sont fermés
7. Enlever toutes mauvaises herbes et arbuste devant l'entrée et la sortie des systèmes de ventilation.
8. Vérifier la rotation des ventilateurs.
9. Vérifier les connexions et les composantes de fixation.

IMPORTANT – LISEZ LE MANUEL DU FABRICANT

Réduire l'énergie utilisée de 10 à 20%

Ventilation

Instruments de mesure

- Pourquoi?
 - ◆ Comparer avec les standards
 - ◆ Voir l'évolution
 - ◆ Automatiser les systèmes
- Quels sont les caractéristiques que l'on recherche sur un instrument de mesure
 - ◆ Précision adéquate
 - ◆ Bonne répétabilité = stabilité

Avez-vous récemment calibré vos instruments?

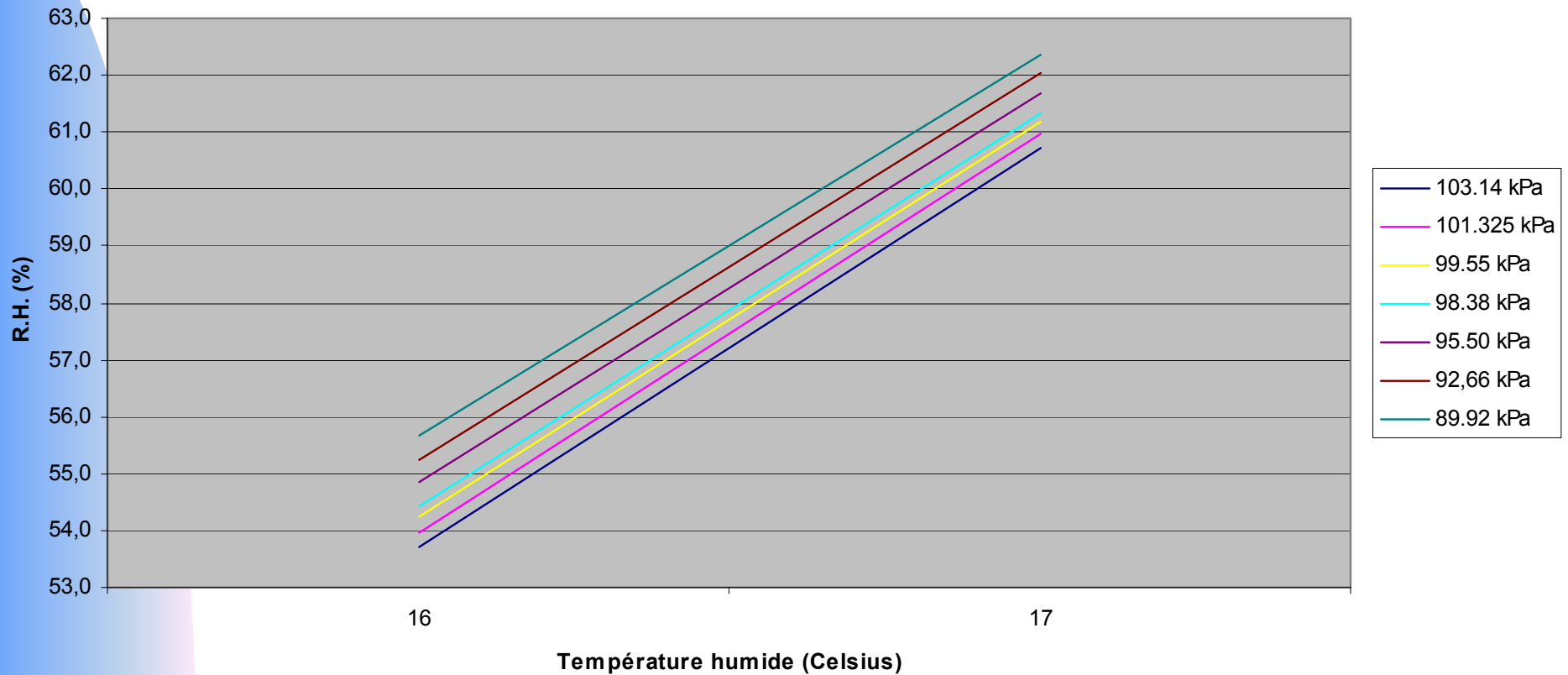
Ventilation

Instruments de mesure

- Minimum
 - ◆ Température → attention aux rayons du soleil et aux systèmes radiants
 - ◆ Humidité → psychromètre et **charte psychrométrique**
 - ☞ Psychromètre: débit de 900 pi/min pendant 3 minutes
 - ☞ Sondes → modèle fonctionnant même avec la condensation
 - ◆ Vitesse du vent → anémomètre

Charte psychrométrique

**Fluctuation de l'humidité relative selon la pression atmosphérique
- Température sec 22 celsius -**



Ventilation

Instruments de visualisation

- Pourquoi?
 - ◆ Visualiser les courants d'air
 - ◆ Déterminer comment l'air est mélangé
 - ◆ Identifier les zones mortes
 - ◆ Évaluer l'étanchéité de la serre

Ventilation

Instruments de visualisation

- Smoke candles

- ◆ Durée
- ◆ Densité



- Alternative qui offre un meilleur contrôle

- ◆ Enfumoir utilisé dans l'apiculture
- ◆ Utiliser un combustible non toxique



Ventilation

Instruments de visualisation

- Smoke bombs
 - ◆ Ne pas utiliser cette méthode
- Smoke sticks et Puffer
 - ◆ Produit peu de chaleur
 - ◆ Bon pour plusieurs minutes
 - ◆ Équivalent à la fumée de plusieurs cigarettes



Ventilation

Instruments de visualisation

- Smoke guns
 - ◆ Vérifier l'étanchéité
 - ◆ #1 Tetrachloride de titanium
 - ☞ Produit des bouffées de fumée de façon intermittente
 - ☞ Dissipation rapide
 - ☞ Difficile parfois à visualiser (clarté, peu de fumée)
 - ☞ Fumée irritante
 - ◆ #2 Poudre de Borozin
 - ☞ Fumée non-irritante



Ventilation

Instruments de visualisation

- Bulles de savon
 - ◆ Visualiser les courants d'air
 - ◆ Résiste peu aux impacts
 - ◆ Modèle professionnel – hélium et compresseur d'air (figure 1)
 - ◆ Modèle de notre jeunesse (figure 2)

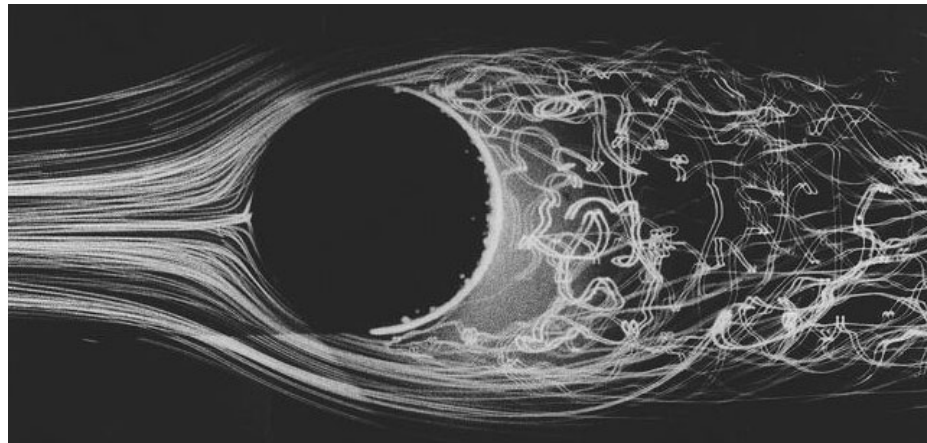
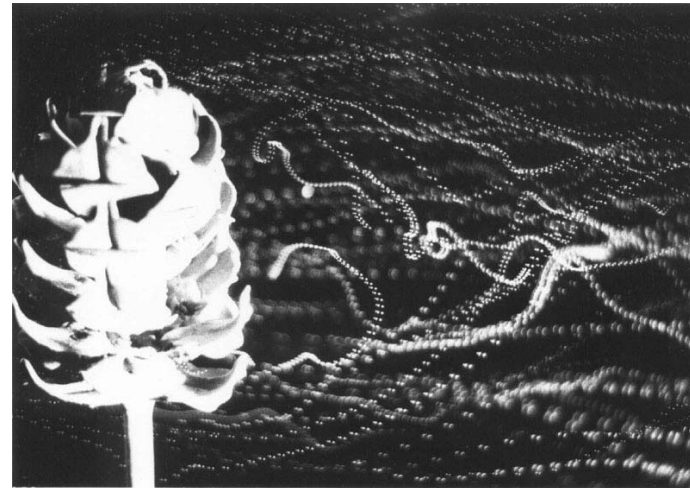


Figure 1



Figure 2

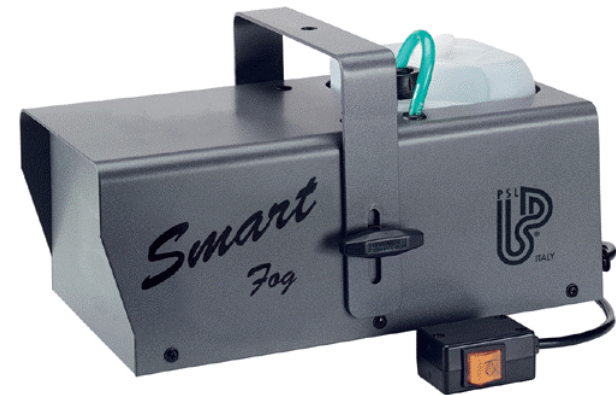
Ventilation Instruments de visualisation



Ventilation

Instruments de visualisation

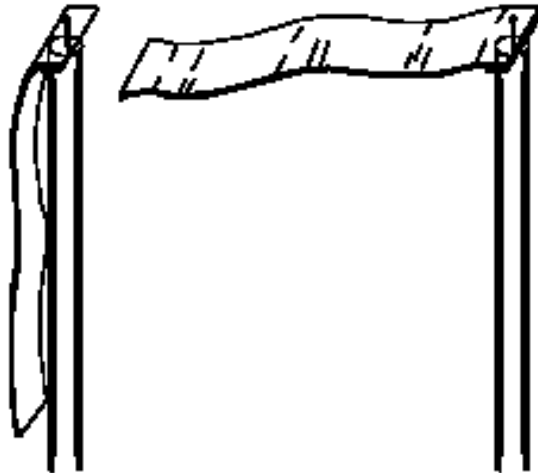
- Générateur de fumée de spectacle
 - ◆ Glycol
 - ☞ Non irritante
 - ◆ Bonne quantité
 - ◆ Glace sèche
 - ◆ Fumée monte, car elle est plus légère que l'air ambiante



Ventilation

Instruments de visualisation

- **Bandelettes**
 - ◆ Dimensionnées selon une vitesse connue pour flotter horizontalement
 - ◆ Placées aux endroits désirés



Source: PennState - Agricultural and biological Engineering

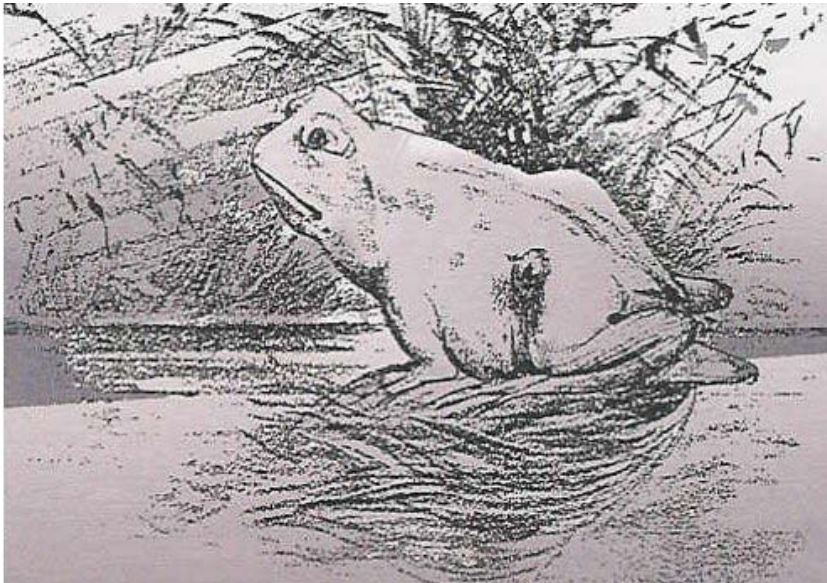
Pour en fabriquer, voir le document:

« **Make Your Own Ceiling Inlet Air Speed Monitors - G94** » - Agricultural and biological Engineering

Conversion

Débit	
1 m ³ / minute	35.31467 CFM
1 CFM	0.028317 m ³ / minute
Radiation solaire	
1 kcal/h	1.163 Watt
1 Watt	0,8598452 kcal/h
Surface	
1 m ²	10.76391 pi ²
1 pi ²	0.0929030 m ²
Vitesse	
1 km / h	0.6213712 mille / h
1 mille / h	1.609344 km / h

Attention aux illusions causées par le vent



Source: MeadWestvaco Corporation

