

La ventilation de refroidissement air ambiant, air réfrigéré

Amandine BONNERY
ARVALIS - Institut du végétal



Organisé par :

Avec la collaboration de :



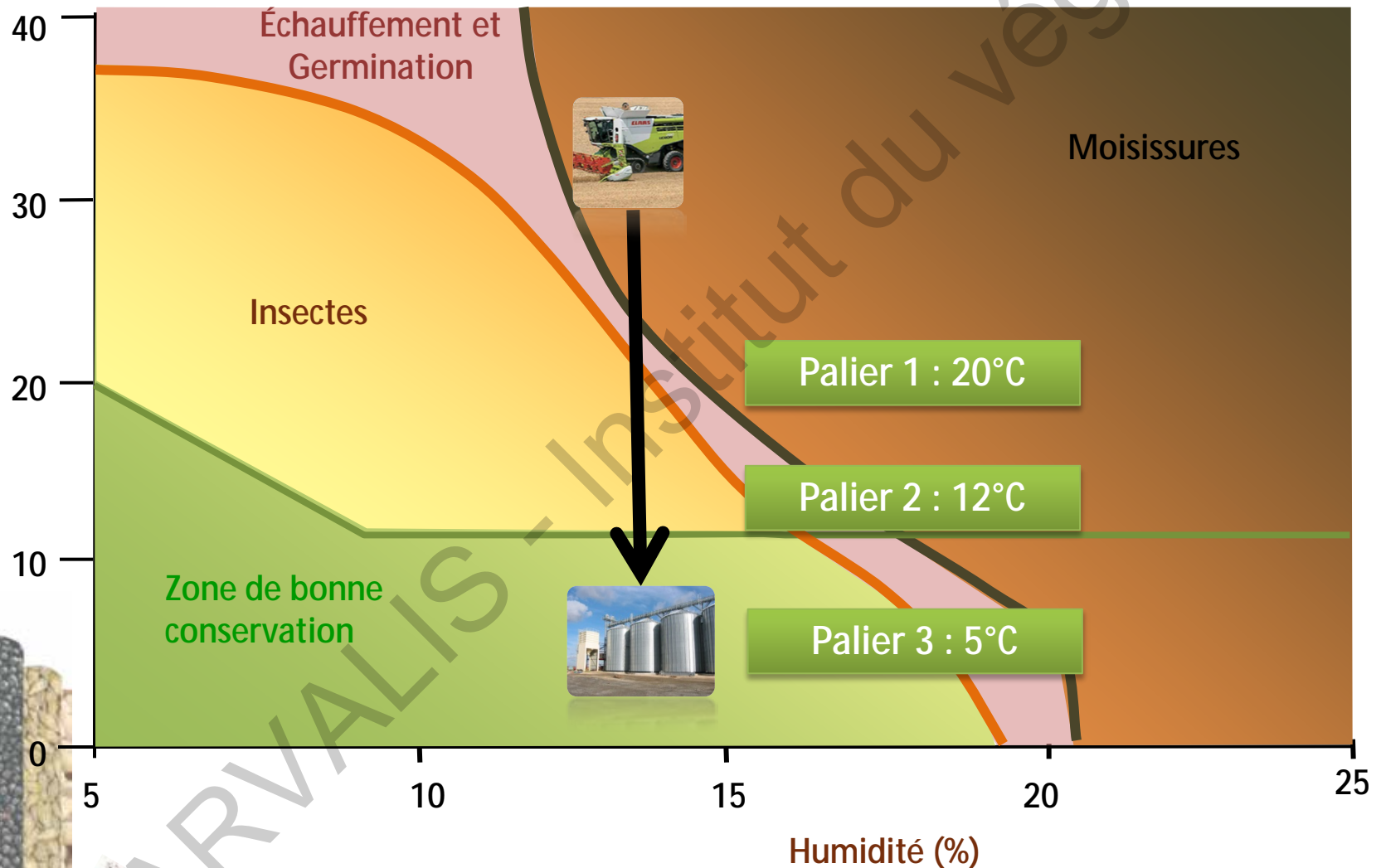
Ventilation de l'air ambiant à l'air réfrigéré pour conserver les céréales

- Technique de ventilation
- Les performances de ventilation dépendent :
 - l'offre climatique
 - du matériel de ventilation
- Développement d'outils pour évaluer sa capacité de ventilation :
 - A partir de types de silos représentatifs, sous forme de cartographie
 - A partir de mesures sur sites, sous forme d'outil en ligne
- La ventilation réfrigérée, une solution alternative?

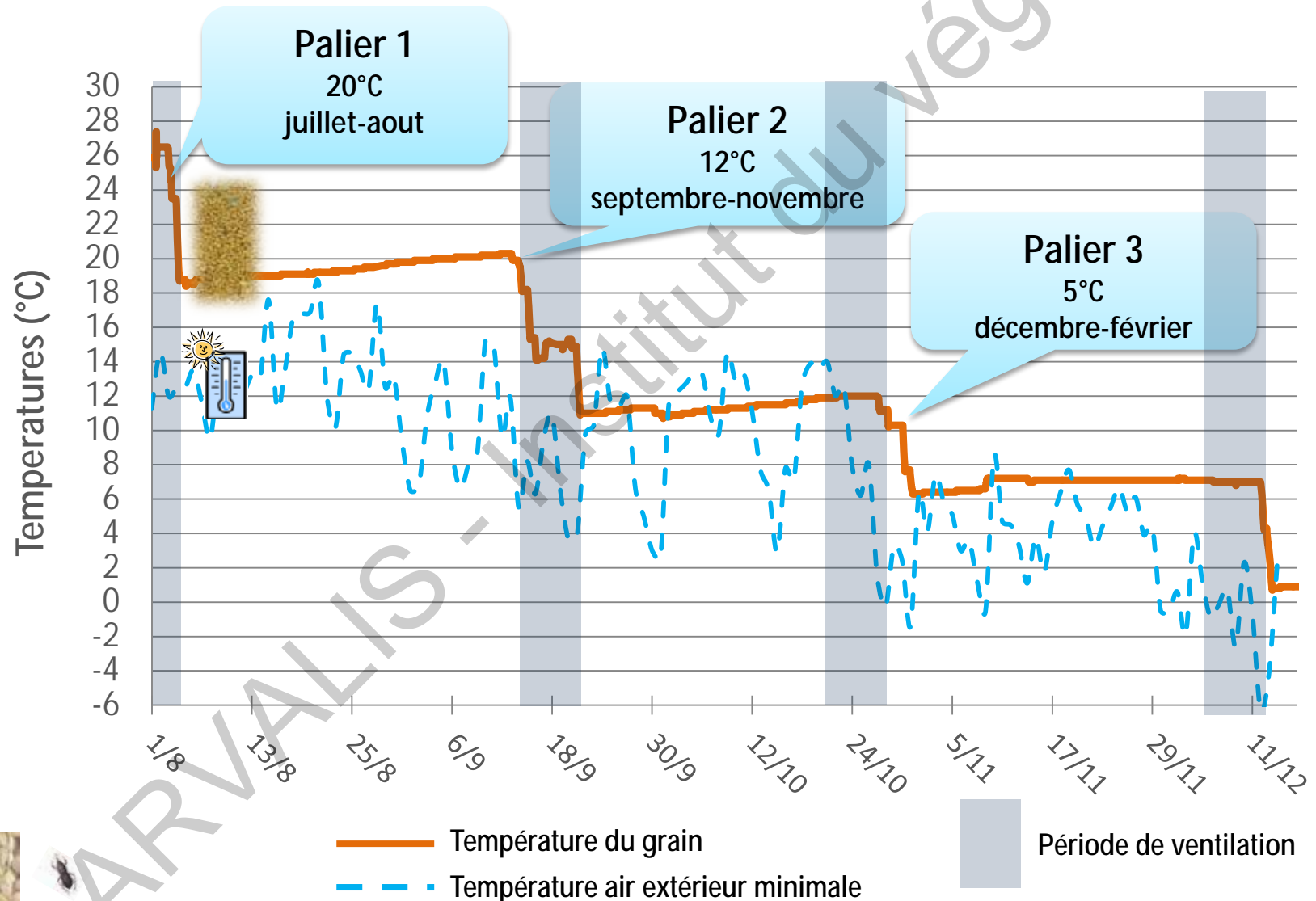


Technique de ventilation de refroidissement

Température (°C)



Technique de ventilation de refroidissement



Technique de ventilation de refroidissement

La dose spécifique :

1000 m³ air/m³ grain

- volume d'air ramené au volume de grain ventilé qu'il faut appliquer pour réaliser complètement un palier donné.

Valable quelle que soit l'installation

Le débit spécifique :

15 m³ air/h/m³ grain (blé)

- volume d'air par unité de temps.

*Dépend du ventilateur en place
(débit d'air) et de la capacité de la cellule*



La durée de refroidissement par palier :

Entre 60 et 80 h

- rapport entre la dose spécifique et le débit spécifique
- identique quelle que soit la capacité de la cellule sous réserve que le débit spécifique soit le même

En fonction du débit d'air spécifique réellement en place, le nombre d'heure nécessaire par palier sera impacté.

*Refroidir le plus tôt possible (offre climatique) et
le plus rapidement possible (nombres d'heures)*

Evaluer sa capacité de ventilation à partir des types de silos représentatifs

- Evaluer les capacités de ventilation des silos en France en fonction :

Types de silos

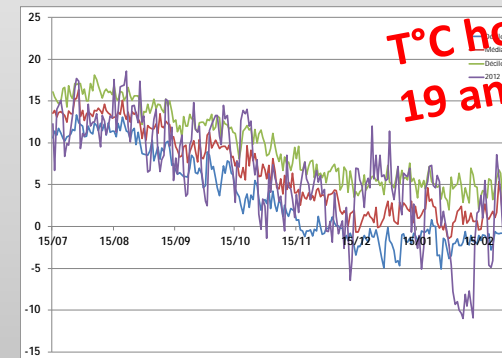
représentatifs , définis par des débits spécifiques

| Types de silos représentatifs | Débit spécifique |
|--|---|
| Silos de très grande hauteur type tour béton | 4 m ³ /h/m ³ 250 h |
| Silos de grande hauteur type palplanche | 8 m ³ /h/m ³ 125 h |
| Silos de moyenne hauteur | 12 m ³ /h/m ³ 83 h |
| Silo en ventilation vidange, stockage à plat ou stockage fermier | 16 m ³ /h/m ³ 62.5 h |

Nombre d'heures nécessaires par palier

Climat

analyse des températures (1989-2009)
source Météo France



**T°C horaires
19 années sur 20**

Nombre d'heures disponibles par palier

NB : réchauffage de l'air dans les circuits de distribution d'air de ventilation non pris en compte

Evaluer sa capacité de ventilation à partir des types de silos représentatifs

Cartes qui illustrent le **nombre de cellules refroidies** par un ventilateur

Débit spécifique
représentatifs de silos types

quelle que soit la capacité des cellules
hypothèse : ventilateur adapté à la
taille des cellules capables de fournir
le débit spécifique



Nombre d'heures nécessaires

Offre climatique

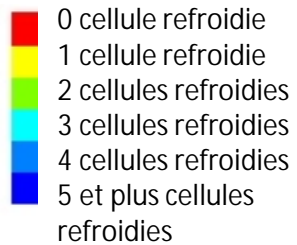


Nombre d'heures disponibles

- si le nombre d'heures nécessaires > nombre heures disponibles
=> 0 cellule ventilable
- si le nombre d'heures nécessaires = nombre heures disponibles
⊃ 1 cellule ventilable

...

Evaluer sa capacité de ventilation à partir de types de silos représentatifs



Palier 1

Silo de très grande hauteur (tour béton)
 $4 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^3$



Silo de grande hauteur (palplanche)
 $8 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^3$



Silo de moyenne hauteur
 $12 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^3$



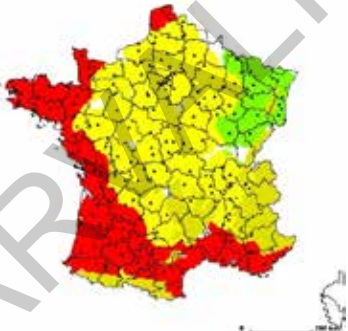
Stockage à plat, fermier
 $16 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^3$



Palier 2



Palier 3



Leviers d'action après le diagnostic

- Une première étape à croiser avec des observations de terrain
- Exemple 1 :

Diagnostic Carte :
offre climatique correcte



Observation terrain :
difficulté dans l'atteinte des paliers de
refroidissement

| Cause probable du problème | Leviers d'action |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Conduite de la ventilation (non respect des écarts de températures, déclenchement trop tardifs...) | <ul style="list-style-type: none">• Formation du personnel,• Mise en place d'un asservissement de la ventilation |
| <ul style="list-style-type: none">• Dimensionnement du ventilateur (débit spécifique trop faible par rapport à la hauteur, aux espèces) | <ul style="list-style-type: none">• Audit plus précis pour vérifier,• Ventilation multi-cellule |
| <ul style="list-style-type: none">• Problème de conception ou de maintenance du système de distribution de la ventilation | <ul style="list-style-type: none">• Audit plus précis pour vérifier l'état du réseau |

Leviers d'actions après le diagnostic

- Exemple 2 :

Diagnostic Carte :
offre climatique insuffisante



Observation terrain :
difficulté dans l'atteinte des paliers de
refroidissement

| Leviers d'action |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">Optimiser le pilotage de la ventilation pour mettre à profit toutes les plages climatiques |
| <ul style="list-style-type: none">Etudier la possibilité d'un renforcement du matériel de ventilation |
| <ul style="list-style-type: none">Solution alternative : ventilation réfrigérée |

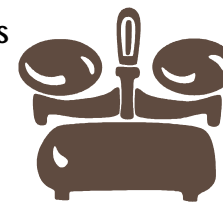
A compléter avec des approches complémentaires

Evaluer sa capacité de ventilation à partir de mesures sur site

- Même approche comparative
- Diagnostic : prise en compte des caractéristiques spécifiques du silo
- Evaluer la capacité de son installation à refroidir convenablement
- Nécessite des mesures métriques et de températures

Nombre
d'heures
nécessaires

Nombre
d'heures
disponibles



entrée

- Dimensions :
 - Cellule
 - Gaine
- Caractérisation du produit stocké
- Définition de la conduite de ventilation
 - 1 cellule ou plusieurs
- Mesure de températures
 - Air ambiant
 - Air dans la gaine



sortie

- Pression (mmCE)
- Débit (m^3 air/h)
- Débit spécifique (m^3 air/h/ m^3 grain)
- Nombre d'heures de ventilation nécessaires pour refroidir le lot
- Nombres d'heures avec températures « efficaces »
- Proposition d'actions à mettre en œuvre

Améliorer la connaissance de sa situation à partir de mesures sur site


- Rapport synthétique :

- Paramètres débits


- et pressions calculés pour chaque palier de ventilation

- Conseils d'optimisation

Demande d'accès à l'outil en ligne :
pfm@arvalisinstitutduvegetal.fr



ARVALIS
Institut du végétal

Avec le concours financier de  **FranceAgriMer**

Autodiagnostic des installations de ventilation

Informations utilisateur

| | | | |
|--------------------------------|-------------------|---------------|---------|
| Date : | 15/03/2012 | Entreprise : | ARVALIS |
| Heure : | 19:30 | Utilisateur : | Elienne |
| Station météo la plus proche : | 91720 BOIGNEVILLE | Site : | PFMG |

Situation diagnostiquée

| | | | |
|--------------------------------|------------|---|------|
| Espace ventilée : | Ble | Température du grain au démarrage de la ventilation : | 20°C |
| Poids spécifique : | 78.5 kg/hl | Température objectif du palier 1 : | 20°C |
| Teneur en eau du grain : | 15 % | Température objectif du palier 2 : | 12°C |
| Nombre de cellules ventilées : | 1 | Température objectif du palier 3 : | 5°C |
| Volume d'une cellule : | 63 m3 | Nom du ventilateur : | |
| Volume total ventilé : | 63 m3 | | |
| Masse stockée : | 50 t | | |

Grandeurs aérodynamiques

| | |
|---------------------|--------------------|
| Pression totale : | 220 mmCE |
| Pression statique : | 200 mmCE |
| Débit : | 4480 m3/h |
| Débit spécifique : | 71 m3 air/m3 grain |
| Réchauffage : | 2.5°C |

Résultats et conclusions

Palier 1 : 16 juillet - 15 septembre

| | |
|-----------------------------------|----------------------|
| Dose spécifique : | 690 m3 air/m3 grains |
| Durée de ventilation nécessaire : | 10 h |
| Fenêtre climatique disponible : | 495 h |

Vous pouvez atteindre l'objectif de température du premier palier de ventilation avant le 15 septembre avec une marge de 485 h pour 1 cellule ventilée dans cette configuration-ci. La ventilation simultanée d'un nombre de cellule plus important pourrait probablement être envisagée, cela vous permettrait de réaliser des économies d'énergie.

Palier 2 : 16 septembre - 30 novembre

| | |
|-----------------------------------|-----------------------|
| Dose spécifique : | 1000 m3 air/m3 grains |
| Durée de ventilation nécessaire : | 14 h |
| Fenêtre climatique disponible : | 596 h |

Vous pouvez atteindre l'objectif de température du second palier de ventilation avant le 30 novembre avec une marge de 582 h pour 1 cellule ventilée dans cette configuration-ci. La ventilation simultanée d'un nombre de cellule plus important pourrait probablement être envisagée, cela vous permettrait de réaliser des économies d'énergie.

Palier 3 : 1er décembre - 28 février

| | |
|-----------------------------------|-----------------------|
| Dose spécifique : | 1180 m3 air/m3 grains |
| Durée de ventilation nécessaire : | 17 h |
| Fenêtre climatique disponible : | 469 h |

Vous pouvez atteindre l'objectif de température du troisième palier de ventilation avant le 28 février avec une marge de 452 h pour 1 cellule ventilée dans cette configuration-ci. La ventilation simultanée d'un nombre de cellule plus important pourrait probablement être envisagée, cela vous permettrait de réaliser des économies d'énergie.

Ventilation à air ambiant : une adéquation entre offre climatique et matériel de ventilation

- Phase de diagnostic indispensable pour pouvoir cibler les actions à mettre en œuvre
- Prendre en compte des observations terrain
- Vision globale des capacités de ventilation possible
- Climat : une composante majeure de la réussite de la ventilation de refroidissement
- Matériel : compensation possible de la faiblesse d'offre climatique

Recherche sur les solutions alternatives qui présentent des intérêts technico-économiques



La ventilation réfrigérée, une solution alternative ?

- Maîtrise maximale des risques susceptibles d'être rencontrés au stockage
- Indépendance vis-à-vis de l'offre climatique
- Atteinte des températures objectifs plus tôt en saison
- Compenser l'effet indésirable du réchauffage de l'air, important dans le cas de cellules de grande hauteur
- Utilisation réduite voire nulle d'insecticides

... des intérêts et des pratiques très variés selon les exploitants, en fonction de leurs objectifs



La ventilation réfrigérée, une solution alternative ?

- Refroidir l'air extérieur utilisé pour la ventilation de refroidissement à l'aide d'un groupe froid, placé en amont du ventilateur

Fourniture d'air réfrigéré à température constante



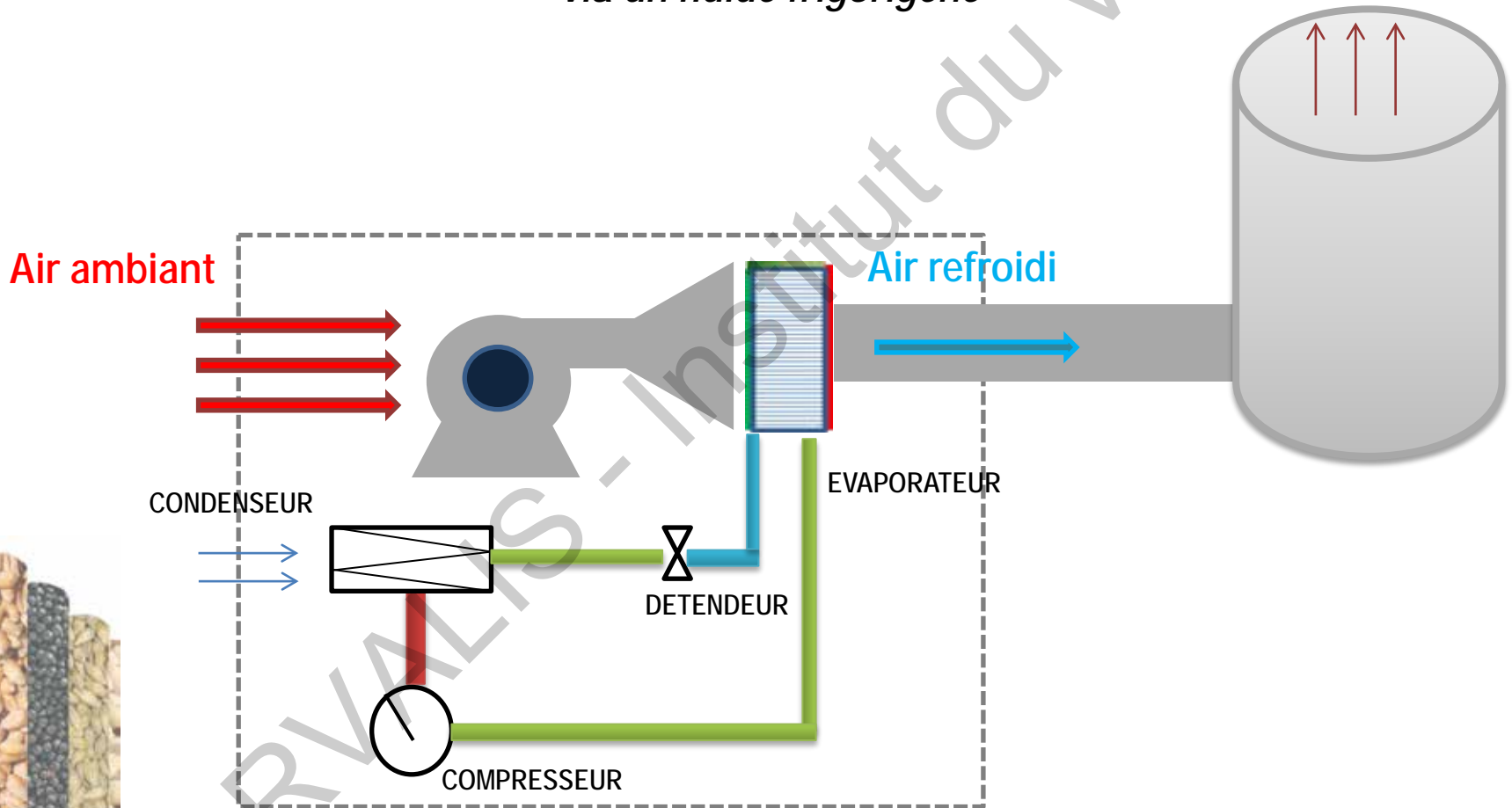
Exemples de groupes froids

- Mobiles ou Fixes
 - Italie - Borghi Freddy
 - Suède - Tornum Grain Cooler
 - Allemand - Granifrigor
 - Groupe CIAT ...
- Réseau de distribution de l'air adapté : gaines calorifugées (selon les zones)



Principe général des groupes de froids

Systeme qui va transporter des calories d'un point froid à un point chaud via un fluide frigorigère



Les caractéristiques techniques d'un groupe froid

Puissance frigorifique kW

- Capacité à transporter des calories par unité de temps – donnée constructeur
- 1 kW = 860 kcal/h
- Définie par rapport à une température de fonctionnement (condensation et évaporation)

Combiné au ventilateur de la cellule

- Courbe débit/pression – donnée constructeur

Exemple :

Groupe Froid
300 kW



Production de :
258 000 kcal/h

Ventilateur



48 000 m³ air/h
(40 000 kg air/h)
sous 400 mmCE

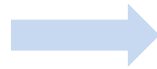
Potentiel de
froid :
kcal / kg air

Les caractéristiques techniques d'un groupe froid

- Objectif du groupe froid : produire de l'air en sortie à une température constante
- Puissance frigorifique constante (kcal/h)
- Besoin en énergie plus ou moins important suivant les conditions climatiques (Température/Humidité Relative) pour maintenir l'objectif de température
- Adaptation du débit d'air refroidi en fonction des conditions climatiques

Point de référence

24°C
65% HR



Groupe Froid

300 kcal/h

Ventilateur



Débit d'air m³/h

31 500



18°C
80% HR

Baisse des températures extérieures

22°C
70% HR



Groupe Froid

300 kcal/h

Ventilateur



Débit d'air m³/h

36 000



18°C
80% HR

Les caractéristiques techniques d'un groupe froid

Incidence des variations du débit d'air sur la conduite de ventilation :

- La durée de refroidissement d'une cellule sera donc différente d'une année sur l'autre, alors qu'en ventilation de refroidissement à air ambiant cet indicateur est stable
- Le suivi des températures des grains est indispensable pour arrêter la ventilation de la cellule

Amène à réfléchir sur l'optimisation des bilans énergétiques de la ventilation réfrigérée

Dans certaines conditions climatiques (température x HR), l'énergie à fournir est très importante par rapport au gain de refroidissement réalisé.

Des asservissements sont disponibles pour limiter les conditions défavorables.