

# *Désinsectisation des grains par la chaleur en lit fluidisé à l'air chaud*

**Francis FLEURAT-LESSARD**

INRA - UR 1264 Mycologie et Sécurité des Aliments

CR INRA de Bordeaux-Aquitaine

33883 Villenave d'Ornon

[francis.fleurat-lessard@bordeaux.inra.fr](mailto:francis.fleurat-lessard@bordeaux.inra.fr)



Organisé par :

Avec la collaboration de :

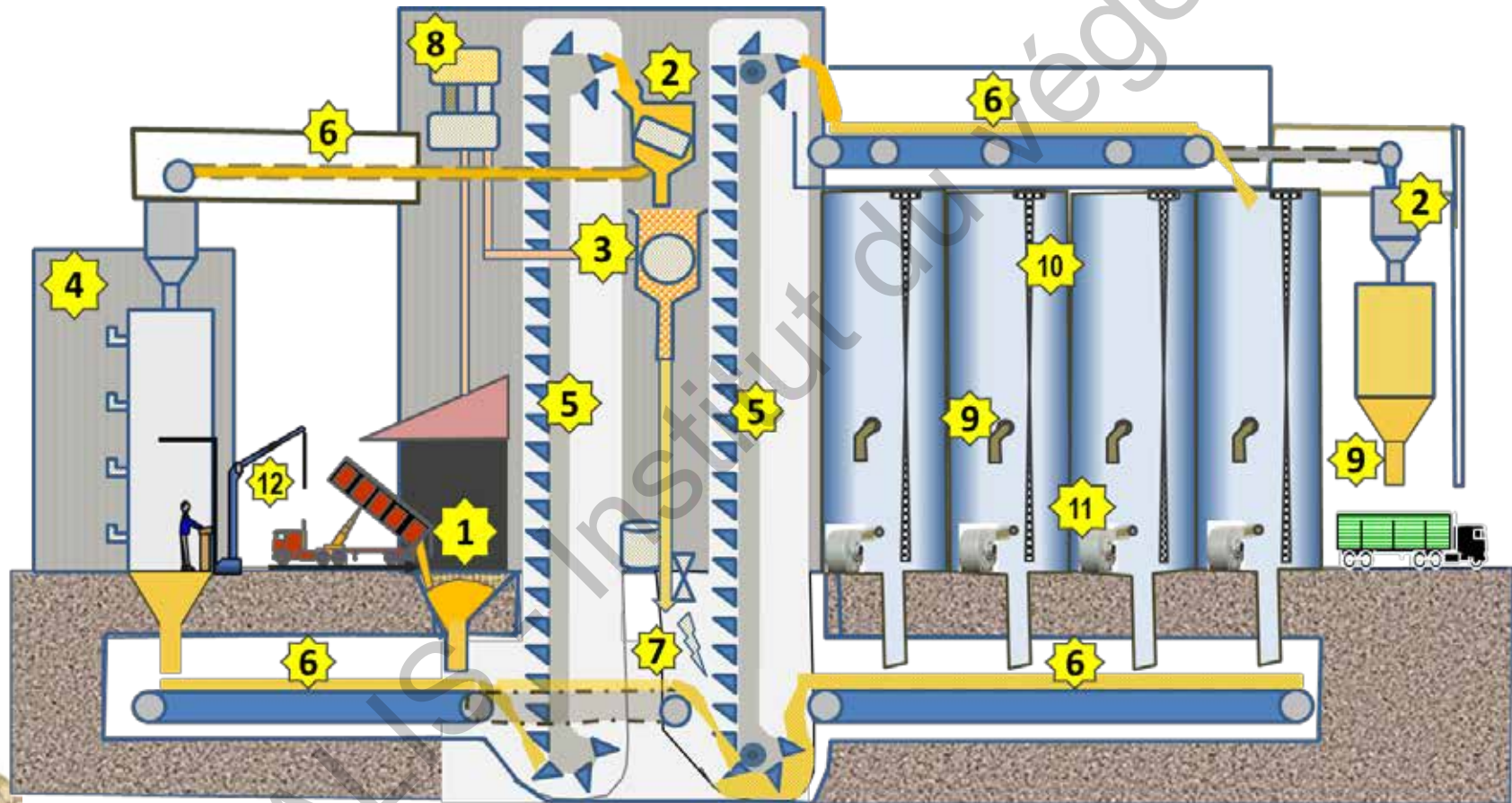


# **- Introduction au contexte de la désinsectisation des grains par la chaleur**

- Sensibilité des insectes à la chaleur
- Historique de la désinsectisation par la chaleur des céréales et des usines des industries des céréales
  - Etudes en laboratoire à l'INRA Bordeaux
  - Développement à l'échelle industrielle (en Australie)



# *Dans un silo les insectes peuvent s'installer partout*



- 1 – Fosse réception ; 2 – Nettoyage ; 3 – Pesage ; 4 – Séchoir ; 5 – Manutention verticale ; 6 – Manutention horizontale ;  
7 – Désinsectisation chimique ; 8 – Système d'aspiration des poussières ; 9 – Circuits de sortie pour expédition ; 10 –  
Silo-thermométrie ; 11 – Ventilation de refroidissement ; 12 – Poste réception et contrôle qualité



# De nombreuses espèces d'insectes à nuisibilité différente peuvent infester les masses de grain stockées dès le chargement des cellules

**Ravageurs « primaires »** se développant à l'intérieur du grain avant l'émergence au stade adulte



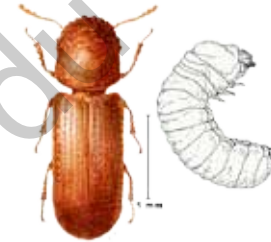
*Sitophilus granarius*  
charançon des grains



*Sitophilus oryzae*  
charançon du riz



*Sitophilus zeamais*  
charançon du maïs



*Rhizopertha dominica*  
capucin des grains



*Sitotroga cerealella*  
alucite des céréales

**Espèces secondaires** qui grignotent les grains à l'extérieur (au stade d'adulte et de larve)



*Tribolium confusum*  
Tribolium sombre



*Tribolium castaneum*  
Tribolium roux



*Stegobium paniceum*  
vrillette du pain



*Oryzaephilus surinamensis*  
« silvain »

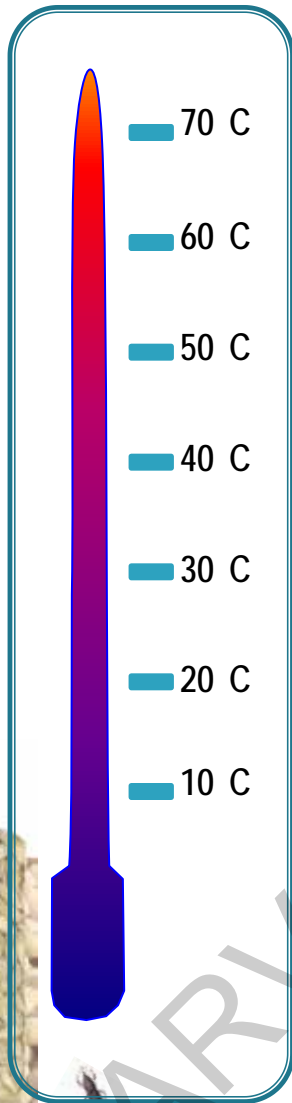


*Cryptolestes ferrugineus*  
petit silvain plat

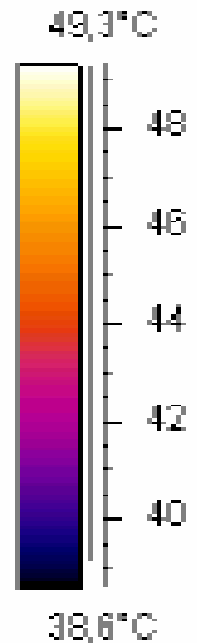


*Plodia interpunctella*  
teigne des fruits secs

*Les insectes des grains stockés ne supportent pas les températures  $\geq 60^{\circ}\text{C}$   
A partir de  $40^{\circ}\text{C}$  : réaction physiologique ;  $53^{\circ}\text{C}$  : température létale à court terme*



- } 60 C x (3 min) : Mort immédiate (1 à 3 min)
- } 50 C x (1 à 2 h) : Mort à court terme
- } 45 C x (80 min) : Arrêt du développement (pas d'émergence des stades juvéniles ni éclosion des œufs)
- } 45 C x (1 h) : Perturbations de la reproduction (diminution de la fécondité des femelles)
- } 45 C x (30 min) : Allongement de la durée de développement des larves et des nymphes
- } 40 C x (1 h) : Déclenchement de la réaction physiologique de l'insecte à la chaleur



# Mais, les différentes espèces d'insectes nuisibles n'ont pas la même sensibilité à la chaleur

de l'espèce la plus tolérante à la plus sensible, la différence est de l'ordre de 10°C



**Espèces très résistantes (48 à 52°C)**

- Vrillette du tabac *Lasioderma serricorne*
- Dermeste des grains (larves) *Trogoderma granarium*



**Espèces résistantes (48 à 52°C)**

- Petit silvain plat *Cryptolestes ferrugineus*
- Capucin des grains *Rhizopertha dominica*



**Espèces à résistance moyenne (46 à 48°C)**

- Charançon du riz *Sitophilus oryzae*
- Tribolium roux *Tribolium castaneum*



**Espèces à résistance faible (44 à 46°C)**

- Charançon des grains *Sitophilus granarius*
- Vrillette du pain *Stegobium paniceum*



**Espèces sensibles (42 à 44°C)**

- Tribolium sombre *Tribolium confusum*
- Silvain *Oryzaephilus surinamensis*

# *Historique de l'utilisation de la chaleur pour désinsectiser le grain ou éradiquer les insectes dans les usines des industries des céréales*

*L'histoire commence en France au XVIII<sup>ème</sup> siècle et vient se réactiver avec les technologies du XXI<sup>ème</sup> siècle*

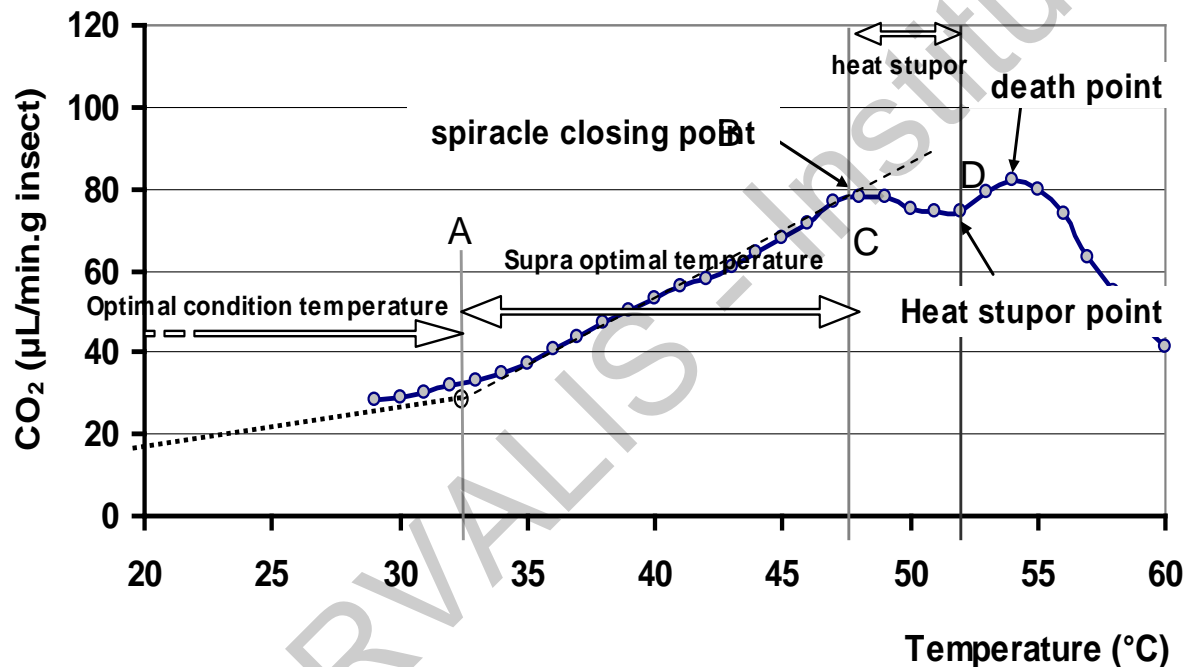
- } **1762** : Duhamel du Monceau met au point le traitement contre l'alucite des céréales par la chaleur
- } 1885 : Lintner publie la température létale pour les ≠ stades de *T. castaneum*
- } **1911** : Dean décrit la technique de désinsectisation des moulins par la chaleur (USA)
- } 1914 : Goodwin cible les températures létales pour 13 insectes des denrées stockées
- } 1915-1922 : Winterbottom – traitement des grains par la chaleur en Australie
- } **1932** : Le Goupil découvre les propriétés insecticides remarquables de CH<sub>3</sub>Br  
**Conséquence : arrêt des utilisations de la chaleur comme technique de désinsectisation des moulins et usines des industries des céréales**
- } **1995** : L'UNEP décide d'interdire d'ici à **2005** le bromure de méthyle pour tous ses usages courants en désinsectisation
- } **1996 -1999** : Reprise des études sur la désinfestation thermique des moulins en Amérique du nord (Imholte, Fields, Subramanyam)
- } **1999** : 1<sup>er</sup> atelier de démonstration et formation à la technique de désinsectisation d'un moulin par la chaleur à l'Université du Kansas (Subramanyam)
- } **2000-2006** : Organisation régulière d'ateliers de démonstration avec entreprises spécialisées (KSU : Subramanyam, Maier ; AAAC : Fields)
- } **2001-2004** : Développement du procédé Thermonoxâ en Europe (Hans Hoffmeir, Fahlenbach, Allemagne)
- } **2010** : Validation du procédé Thermonox en France pour les moulins (Vacquer et al. 2011)



# Quelle est la réaction physiologique d'un insecte à la montée en température au-delà de sa capacité de résistance

Détermination des points remarquables de l'enregistrement thermo-respirométrique)

CO<sub>2</sub> release by *S. zeamais* adults in response to regular increase of temperature: thermobiological standard curve



Points remarquables de la réponse physiologique à la montée en température:

- A. Début d'hyper-oxygénation pour la production des HSP
- B. Température de fermeture des stigmates (SCP)
- C. Point d'entrée en torpeur thermique (HSP) avec réouverture des stigmates
- D. Point létal (DP) (mort irréversible)



# Résultats des différentes études en conditions contrôlées pour calibrer l'application pratique

Détermination de la température létale en quelques min au laboratoire (47,5 à 53,6 °C)

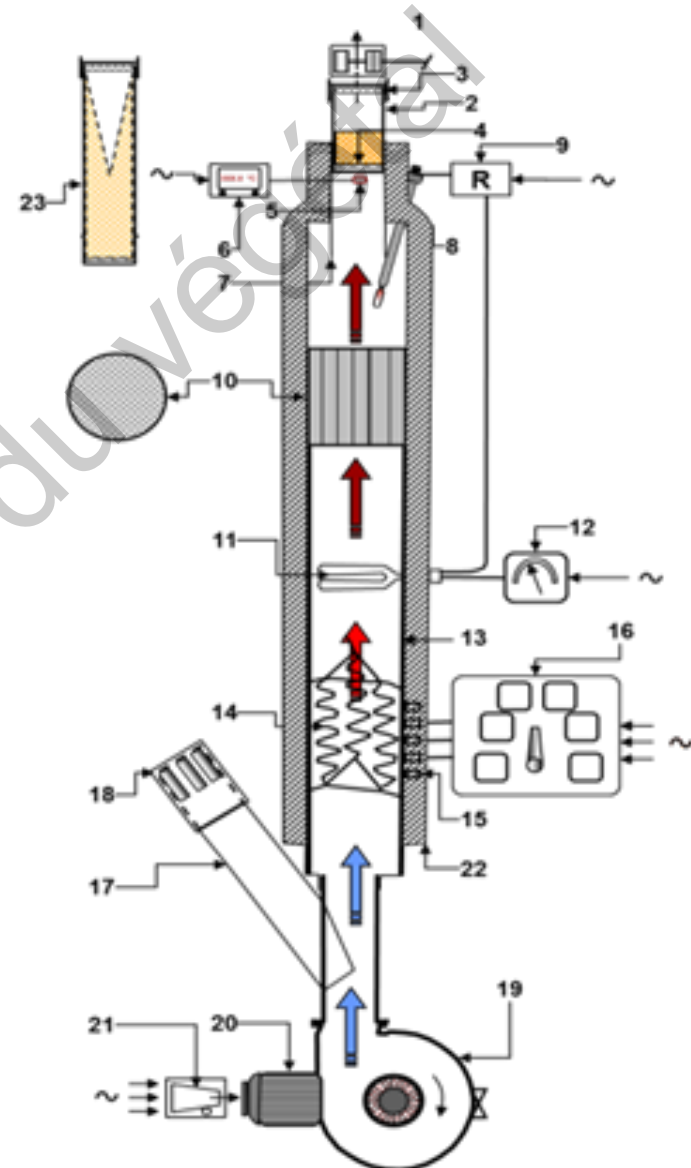
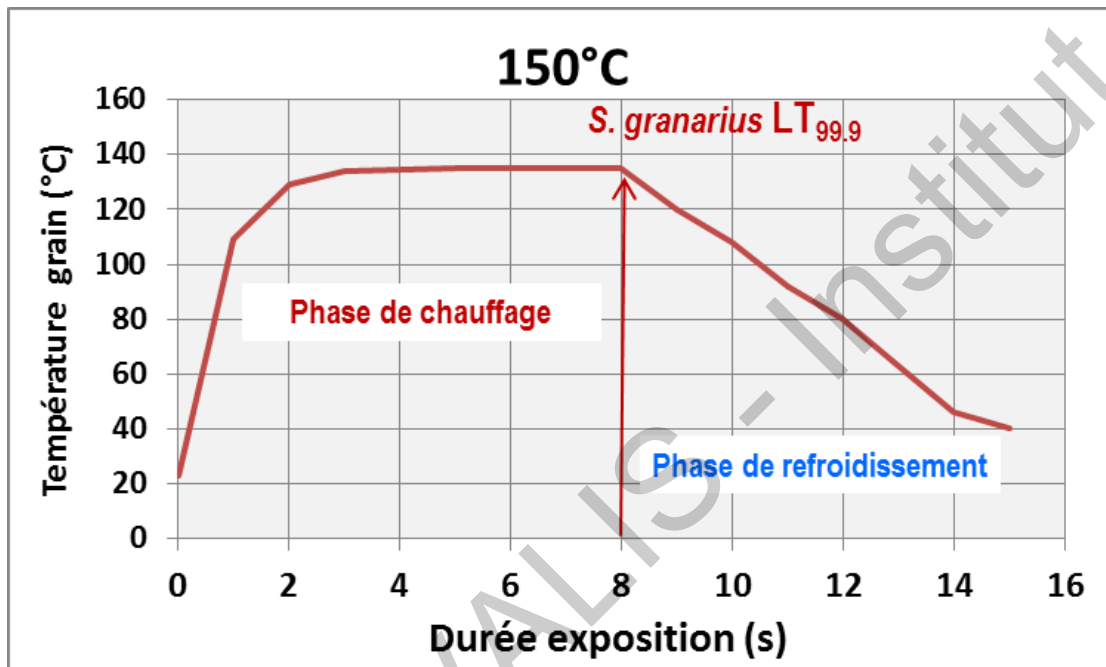
Température létale limite déterminée expérimentalement pour les ≠ espèces

Espèce	Phase Hyperventilation Synthèse Hsp	Phase torpeur Fermetures stigmates	Phase coma Thermothorpeur permanente	Température de mortalité
<i>T. castaneum</i>	34,5°C	/	45°C	50°C
<i>T. confusum</i>	32°C	/	/	48°C
<i>R. dominica</i>	43°C	46°C	51°C	53,5°C
<i>S. zeamais</i> adulte	32°C	45°C	47°C	49°C
<i>S. zeamais</i> larve	/	34°C	40°C	47,5°C



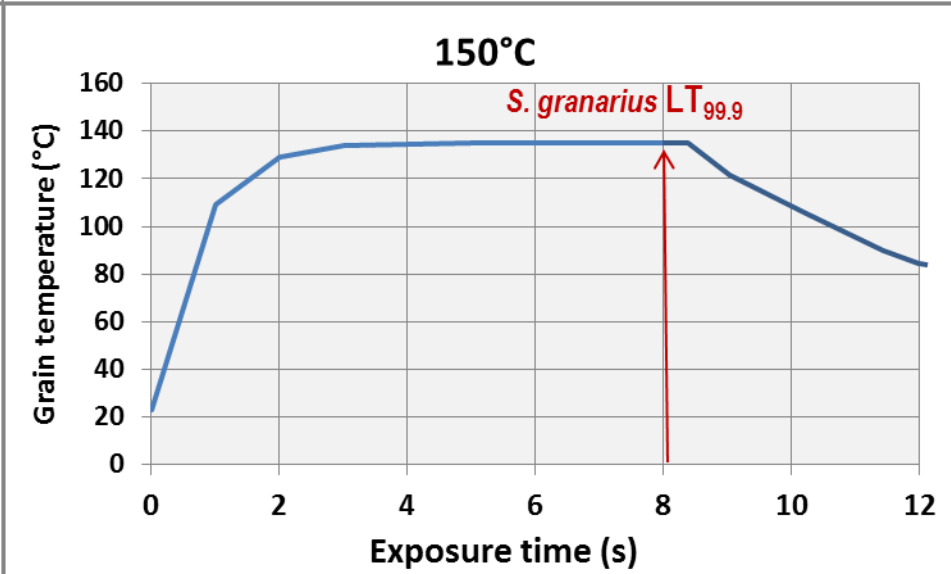
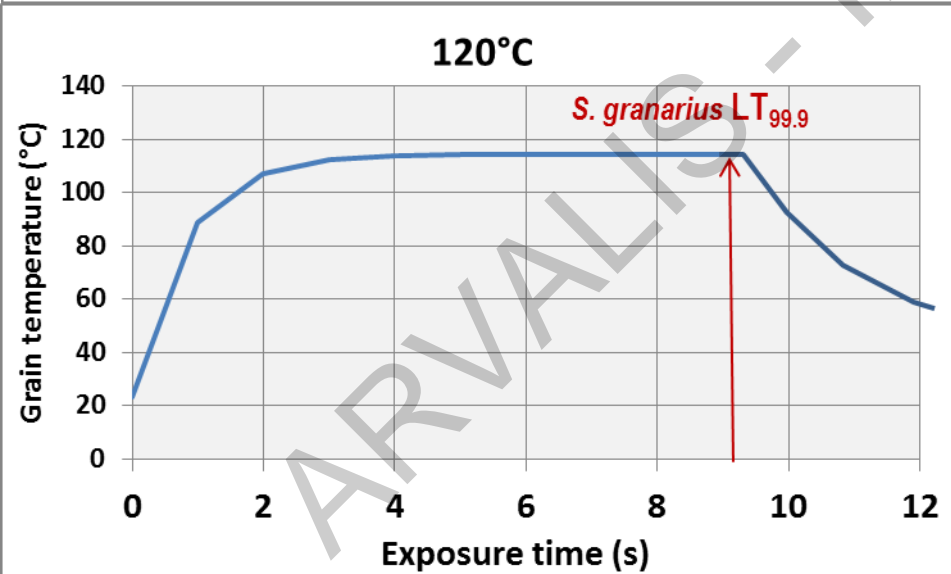
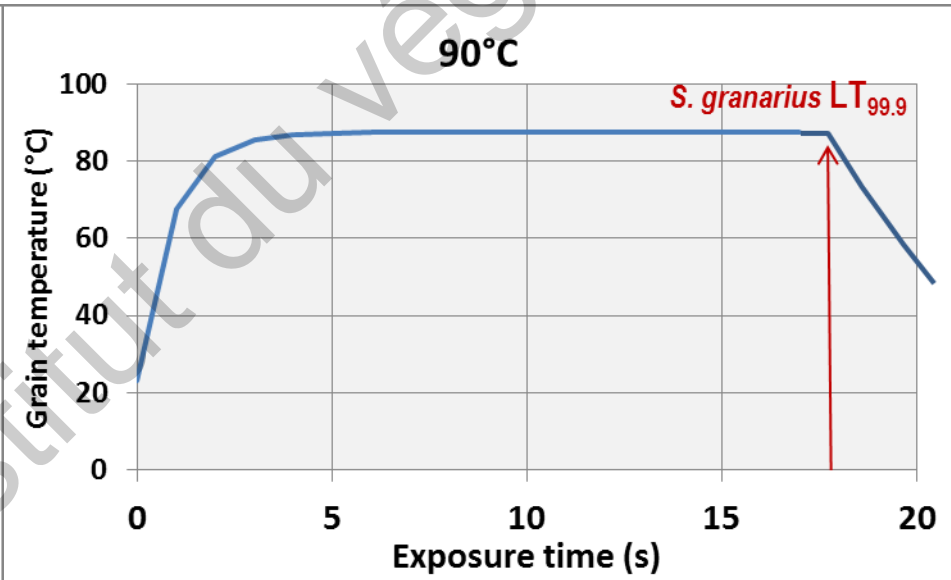
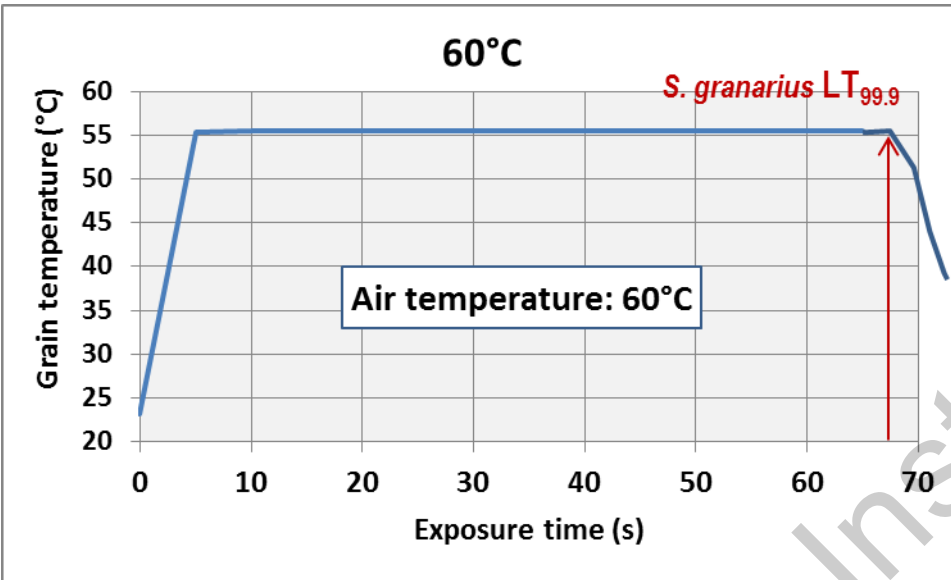
# Appareil pilote INRA conçu pour l'étude en laboratoire de la désinsectisation en lit fluidisé à haute température (années 1985-1995)

Pour désinsectiser du grain par la chaleur sans en changer significativement les propriétés technologiques il faut passer par un système de chauffage rapide suivi d'une phase de refroidissement immédiat (en lit fluidisé)



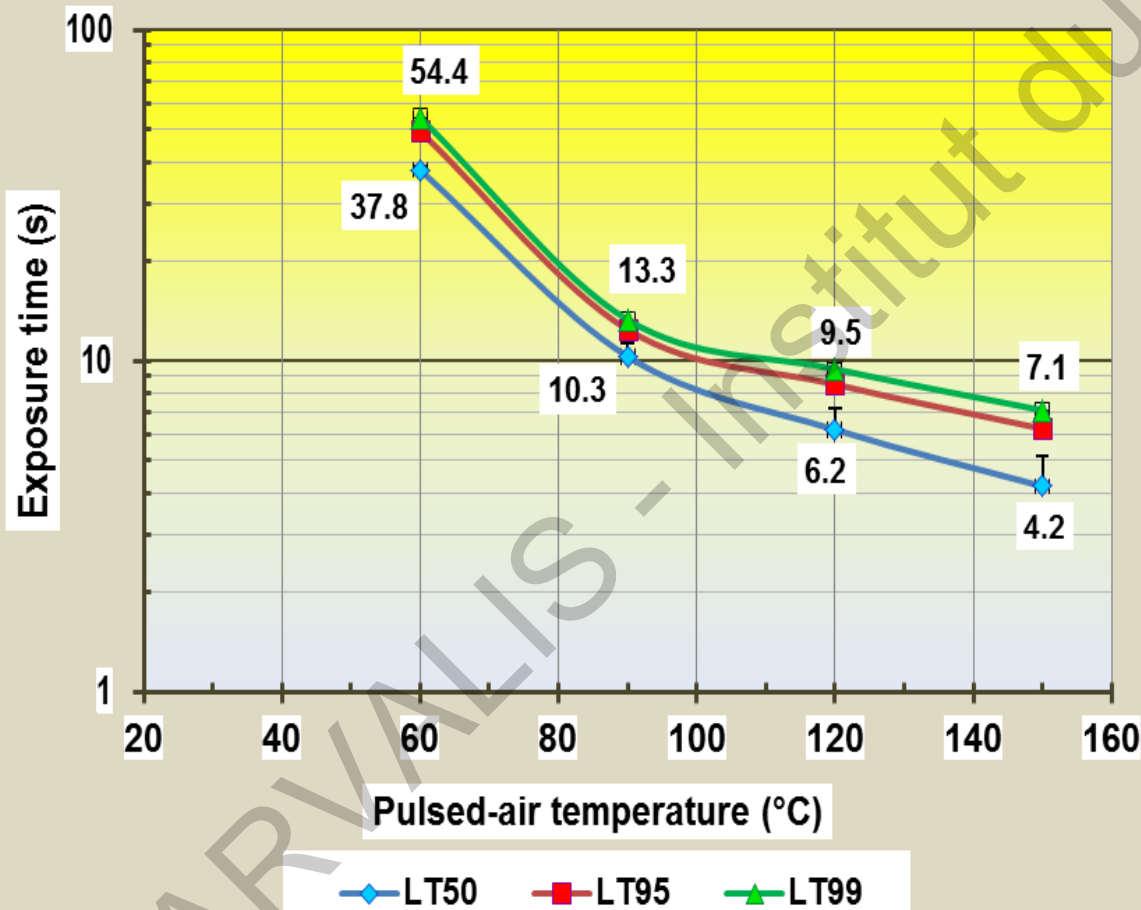
1 – Thermal anemometer - 2 – Sample exposure chamber (SEC) - 3 – Upper sieve of SEC - 4 – Lower sieve of SEC - 5 – Temperature sensor + data logger - 6 – Airflow temperature display (before SEC) - 7 – metallic tubing supporting SEC - 8 – Electronic thermostat - 9 – Electronic regulation of electrical heating resistance - 10 – Honeycomb structure for laminating the heated airflow - 11 – Electrical resistance for fine adjustment of airflow temperature - 12 – Rhéostat voltage regulator resistance - 13 – Metallic protective hose supporting SEC - 14 – Multiple electrical heating resistances with switch - 15 – Electrical connection of resistance cluster - 16 – Switch between different heating power levels - 17 – by-pass for partial heated airflow extraction - 18 – Adjustable valve for partial extraction of heated airflow - 19 – Centrifugal fan - 20 – Fan drive motor - 21 – Electronic voltage variator for the fan drive motor - 22 – Thermal insulating material - 23 – Exposure chamber for fine granular material (semolina).

*Pour désinsectiser du grain par la chaleur sans en changer significativement les propriétés technologiques il faut chauffer rapidement le grain à 63 – 65°C et le refroidir immédiatement ensuite (ce qui est possible en lit fluidisé)*



## Résultats de désinsectisation à des températures de l'air insufflé de 60 à 150°C

Fig. 2: Exposure time in fluidized-bed with air at different temperatures to kill *S. oryzae* hidden infestation in durum



La durée d'exposition létale pour l'ensemble des stades de *S. oryzae* (incluant l'ensemble des stades cachés à l'intérieur des grains) varie de 54,4 s avec de l'air insufflé à 60 °C, à 7,1 s quand l'air est insufflé à 150 °C.



# Evolution des paramètres alvéographiques de la farine extraite de blé désinsectisé en lit fluidisé avec de l'air insufflé à 90 et 150°C

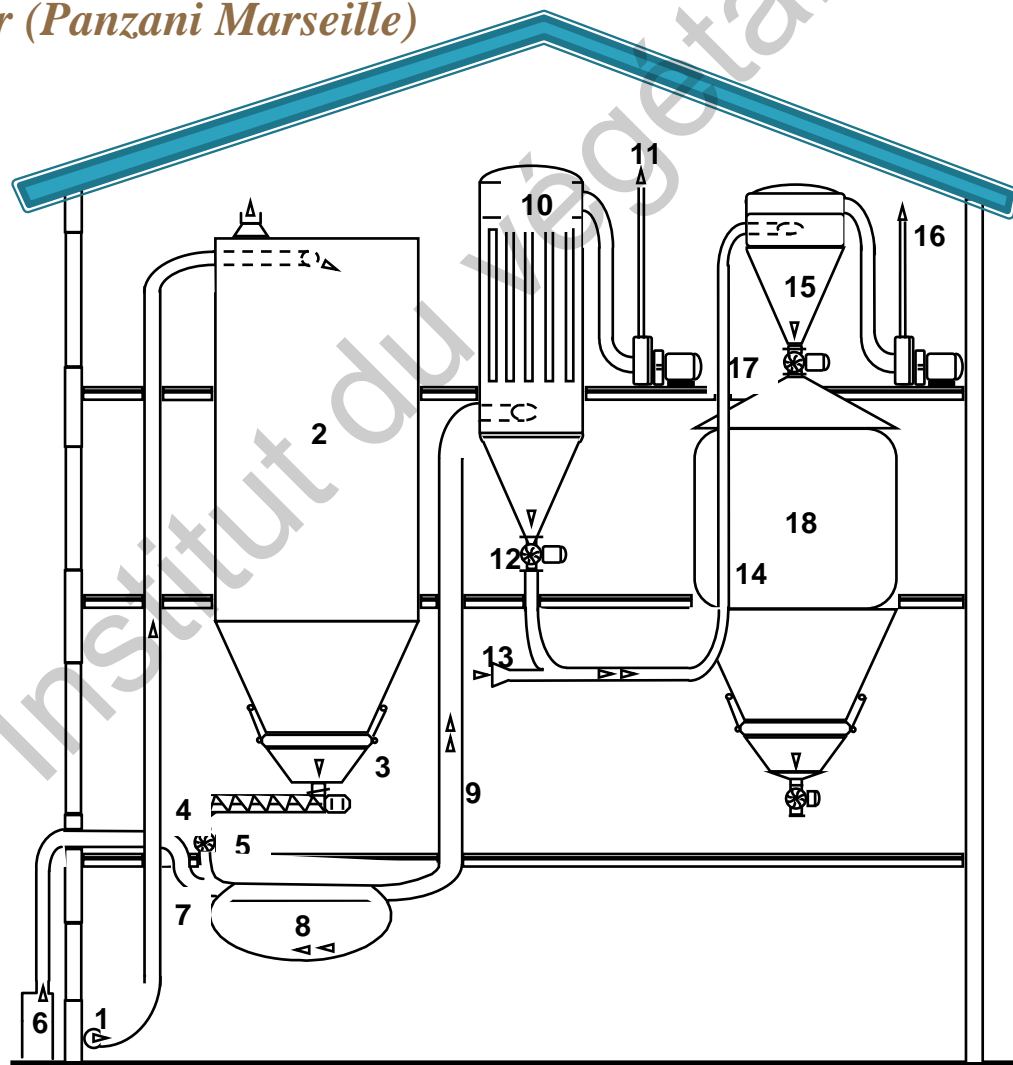
Grain moisture content	14%		15%		17%	
Alveograph parameters	W	P/L	W	P/L	W	P/L
Untreated control	160	0.4	161	0.39	135	0.39
90°C, 17s = LT <sub>99</sub>	157	0.53				
90°C, 19 s > LT <sub>99</sub>			146	0.42		
90°C, 21 s > LT <sub>99</sub>					142	0.44
150°C, 9 s ≈ LT <sub>99</sub>	159	0.58				
150°C, 10 s > LT <sub>99</sub>			143	0.57		
150°C, 11 s > LT <sub>99</sub>					158	0.73*
* significant difference at $P \leq 0.05$						

Les paramètres alvéographiques ne sont significativement modifiés que lorsque la durée du choc thermique est supérieure à la durée d'exposition létale pour le charançon des grains *S. granarius* (tous stades de développement confondus)

## *Pilote de désinsectisation par transport pneumatique dans l'air chaud de semoule ou de blé dur (Panzani Marseille)*

Circuit d'étuvage rapide de semoule de blé dur ou de lots de blé avant trituration, dans un système de transport pneumatique dans l'air chaud à haute température (120 à 200 C)  
**adapté pour la désinsectisation**

= installation pilote de validation des essais en laboratoire et des modèles (débit : 2 T / h de semoule ou de blé dur)



1 = semolina or grain feeder ; 2 = storage bin ; 3 = vibrating discharge ; 4 = product flow-rate regulator ; 5, 12 and 17 = rotating valves ; 6 = heat source ; 7 = hot air pipe ; 8 = by-pass ; 9 = hot fluid-lift conveyor circuit (hot air + product) ; 10 and 15 = separation air/product (filter) ; 11 = hot air exhaust ; 13 = fresh air inlet ; 14 = fresh air fluid-lift circuit (fresh air + product) ; 16 = fresh air exhaust ; 18 = Buffer bin for the heat-treated product.

**Installation industrielle de désinsectisation du blé d'exportation  
construite en Australie au silo de Dunolly (NSW) :**

**Débit de désinsectisation : 150 à 200 T/h**

**Température de l'air : 120 à 200°C**

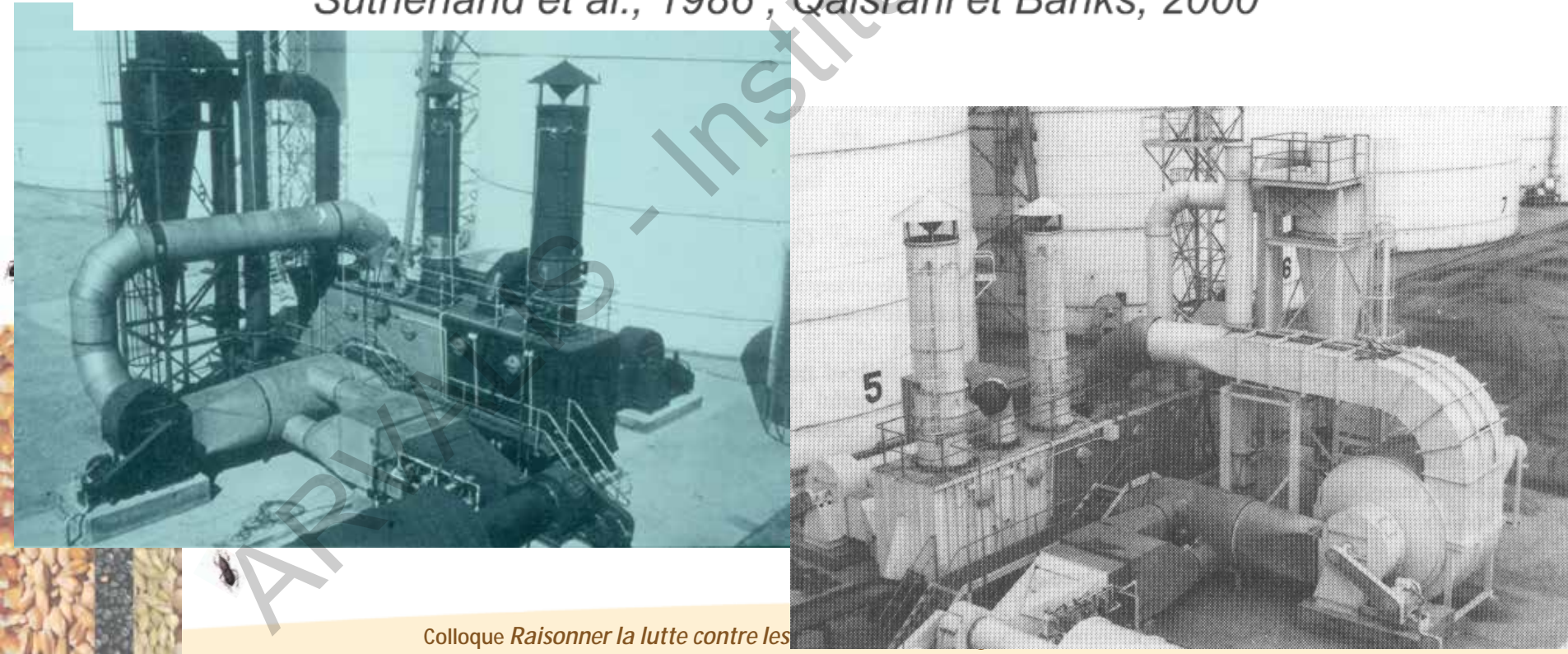
**Durée de séjour du grain dans l'appareil : 2 à 4,5 min**

**Température maximum du grain 65 – 72°C (avant refroidissement)**

**Constructeur : Niro Atomizer (Danemark)**

**Coût en énergie de la désinsectisation :  $\leq 1$  \$ Austr. / tonne**

*Sutherland et al., 1986 ; Qaisrani et Banks, 2000*





Cela peut donner des idées pour demain ; non?



**Merci pour votre attention**