

Document 1 : A_w minimum de croissance de quelques micro-organismes

BACTERIES		LEVURES	
<i>Acinetobacter</i>	0.99	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0.90-0.94
<i>Clostridium botulinum E</i>	0.97	LEVURES OSMOPHILES	0.72
<i>Clostridium perfringens</i>	0.97		
<i>Escherichia coli</i>	0.95	MOISSISSURES	
<i>Salmonella sp</i>	0.95	<i>Fusarium</i>	0.90
<i>Clostridium botulinum A, B</i>	0.95	<i>Mucor</i>	0.80-0.90
<i>Lysteria monocytogenes</i>	0.92	<i>Penicillium expansum</i>	0.85
<i>Bacillus subtilis</i>	0.90	<i>Aspergillus flavus</i>	0.78
<i>Staphylococcus aureus</i>	0.86		
BACTERIES HALOPHILES	0.75	MOISSISSURES XEROPHILES	0.70

Document 2 : Moisissures et mycotoxines des céréales

1. Contamination au champ		
moisissure	mycotoxine	céréales
<i>Claviceps sp.</i>	alcaloïdes	seigle blé
<i>Alternaria sp.</i>	alternariol, acide ténuazonique	toutes
<i>Fusarium graminearum</i>	zéaralénone trichothécènes B DON, nivalénol, fusarénone X	blé, maïs, orge
<i>Fus. moniliforme</i>	fumonisines	maïs
<i>Fus. sporotrichioides</i> (rare)	trichothécènes A	blé, orge
2. Contamination de stockage		
moisissure	mycotoxine	céréales
2a. stockage humide (ensilages)		
<i>Fus. graminearum</i>	zéaralénone	maïs
<i>Byssochlamys nivea</i>	patuline	maïs
2b. stockage contrôlé (silos)		
nombreux <i>Aspergillus</i> et <i>Penicillium sp.</i>	aflatoxines ochratoxine A	toutes

Document 3 : Extrait d'article : les fusariotoxines des céréales et des coproduits céréaliers français, F. Grosjean, B.Barrier-Guillot, A.Chopineaux, in Industrie des Céréales n°143, juin-juillet 2005.

La teneur du blé tendre (*Triticum aestivum*) en DON dépend principalement du climat, à savoir la pluie au moment de la floraison et accessoirement dans les semaines qui suivent la floraison. À côté de ce premier facteur de risque figurent d'autres facteurs que l'on peut qualifier de « secondaires ».

L'effet de chaque facteur secondaire est faible en cas d'absence de pluie mais important en cas contraire. Par ailleurs, l'effet combiné de tous les facteurs secondaires présents en cas de pluie sur la teneur en fusariotoxines des blés est plus important que la somme de leurs effets individuels (BARRIER-GUILLOT *et al.*, 2004 ; OBST *et al.*, 2000).

Le premier facteur de risque secondaire concerne les reliquats de la récolte précédente chargés en inoculum. C'est un facteur synthétique regroupant un facteur « rotation » et un facteur « travail du sol ».

Le facteur « rotation » concerne surtout le maïs en tant que précédent cultural : un blé cultivé derrière un maïs a plus de chance d'être fusarié qu'un blé cultivé derrière un blé ou un soja (DILL-MACKEY et JONES, 2000 ; SCHAAFSMA *et al.*, 2001 ; BARRIER-GUILLOT *et al.*, 2004). Ce risque est d'autant plus important que le reliquat de la récolte précédente de maïs est important (par exemple suite à une récolte de maïs grain comparativement à une culture de maïs ensilage pour ruminants) comme l'ont montré OBST *et al.* (2000). Le risque « précédent cultural maïs » peut s'expliquer probablement par la nature et la taille importante des reliquats de maïs par rapport à celles des autres cultures, ce qui entraîne une survie de l'inoculum plus importante d'une saison à l'autre.

Le risque « travail du sol » concerne la survie de l'inoculum d'une saison à une autre selon le degré de non-enfouissement de cet inoculum dans la terre ; la survie est maximale dans le cas d'absence de travail du sol, et minimale en cas de labour (DILL-MACKEY et JONES, 2000 ; YI *et al.*, 2001), et ce d'autant plus que la profondeur d'enfouissement est grande (YI *et al.*, 2002).

Parmi les autres facteurs de risque secondaires modulant l'effet de la pluie à la floraison figure le caractère « résistance à la fusariose » de la variété de blé. Cependant, cette sensibilité variétale est incomplètement connue et la note de résistance à la fusariose est mal reliée au niveau de contamination en toxines.

Enfin, le dernier facteur de risque secondaire modulant la teneur en DON des grains de blé est la « protection phytosanitaire ». Cette protection est assurée par des molécules appartenant à deux familles : celles des triazoles et celle des strobilurines. Les triazoles réduisent le développement des *Fusarium* vrais et font chuter la teneur en DON. Les strobilurines réduisent le développement de *Microdochium nivale* (champignon donnant des symptômes de fusariose, mais sans production de toxines au champ) mais sont sans action sur le développement des *Fusarium* vrais ; dans ces conditions les *Fusarium* peuvent se développer puisque leurs compétiteurs ont disparu et la production de DON peut augmenter (SIMPSON *et al.*, 2001) ; cette production peut aussi augmenter par un effet de stress des *Fusarium* résultant de la présence de strobilurines (ITCF, résultats non publiés). Comme la fusariose du champ causée par *Microdochium* se distingue mal visuellement d'une

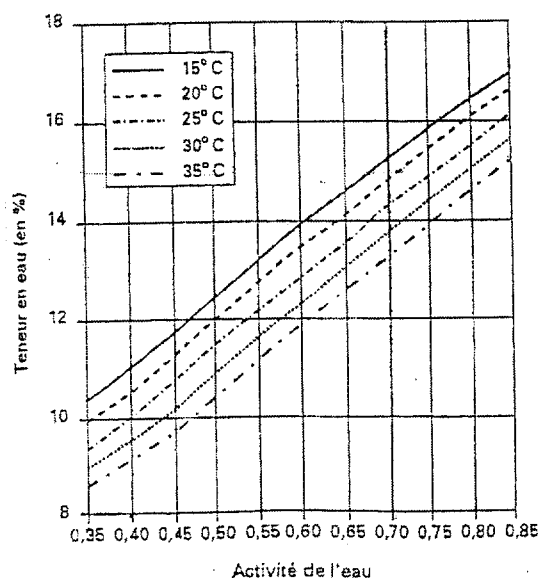
fusariose causée par *Fusarium*, il importe par précaution de traiter avec un mélange triazole-strobilurine. De plus, il faut traiter au bon moment, c'est-à-dire le plus rapidement possible après apparition des risques ou des symptômes. Malgré ces précautions, la protection phytosanitaire n'est jamais très efficace (au mieux elle divise par 2 la progression de la fusariose et la teneur en DON), et elle l'est d'autant moins que d'autres facteurs de risque sont présents (NICHOLSON *et al.*, 2004).

Document 4 : Teneurs en mycotoxines de Fusarium de produits de mouture

	Nivalénoï	Désoxy-nivalénoï (DON)	Zéaralénoï
Blé brut ($\mu\text{g}/100\text{ g}$)	88,7	3,1	204,7
	en % de la teneur du grain *		
Farine de 1 ^{er} broyeur	80	76	37
2 ^e —	58	65	34
3 ^e —	61	59	36
Farine de 1 ^{er} convertisseur	31	60	38
2 ^e —	36	65	42
3 ^e —	47	75	52
1 ^{er} finots	104	101	130
2 ^e finots	180	124	145
son	200	151	187
remoulages	193	187	234

* les teneurs de chaque fraction (en $\mu\text{g}/100\text{ g}$) sont exprimées en pourcentage de la teneur du blé brut (en $\mu\text{g}/100\text{ g}$).

Document 5 : Isothermes d'adsorption du blé, obtenus à différentes températures



Document 6 : Composition biochimique de la farine

Glucides (% Matière sèche)	
Sucres simples	2 %
Amidon	80 %
Cellulose	0,1 %
Pentosanes	1,6 %
Protéines (% Matière sèche)	12 %
Lipides (% Matière sèche)	2 %
Matières minérales (% Matière sèche)	0,5 %

Document 7 : Évolution de la concentration en maltose (en % de pâte sèche) dans la pâte sans levure au cours du pétrissage, en fonction de la vitesse de pétrissage

Farine	150 g	150 g
Amylase fongique (USB/g)	0	0
Levure (g)	0	0
Vitesse de pétrissage (nb de rotations par minute)	50	100
Temps (min)	<u>% maltose</u>	<u>% maltose</u>
Pétrissage de la pâte		
t = 0	0.034	0.034
t = 7	1.61	1.58
t = 13	1.74	1.88
t = 19	1.91	2.13
Repos de la pâte		
t = 49	2.09	2.34
t = 55	2.38	2.53
Repos de la pâte		
t = 85	2.55	2.74

Document 8 : Évolution de la concentration en maltose (en % de pâte sèche) dans la pâte au cours du pétrissage, avec ou sans amylases fongiques

Farine	150 g	150 g
Amylase fongique (USB/g)	0	20
Levure (g)	0	0
Vitesse de pétrissage (nb de rotations par minute)	50	50
Temps (min)	<u>% maltose</u>	<u>% maltose</u>
Pétrissage de la pâte		
t = 0	0.034	0.034
t = 7	1.61	3.59
t = 13	1.74	4.48
t = 19	1.91	4.53
Repos de la pâte		
t = 49	2.09	4.96
t = 55	2.38	5.51
Repos de la pâte		
t = 85	2.55	5.62

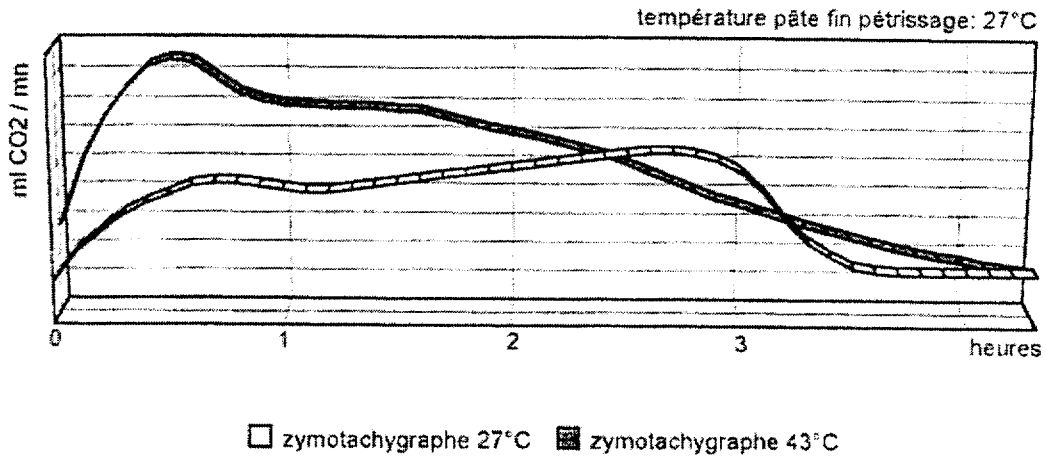
Document 9 : Évolution de la concentration en maltose (en % de pâte sèche) dans la pâte au cours du pétrissage, pour des farines issues de blé de variété pures

Farine (150 g)	150 g, variété Récital	150 g, variété Soissons
Amidon endommagé (UCD)	21.2	16.8
Amylase fongique (USB/g)	0	0
Levure (g)	0	0
Vitesse de pétrissage (nb de rotations par minute)	50	50
Temps (min)	<u>% maltose</u>	<u>% maltose</u>
Pétrissage de la pâte		
t = 0	0.047	0.045
t = 7	1.13	0.63
t = 13	1.29	0.86
t = 19	1.57	0.88
Repos de la pâte		
t = 49	1.70	1.08
t = 55	1.66	1.19
Repos de la pâte		
t = 85	1.83	1.29

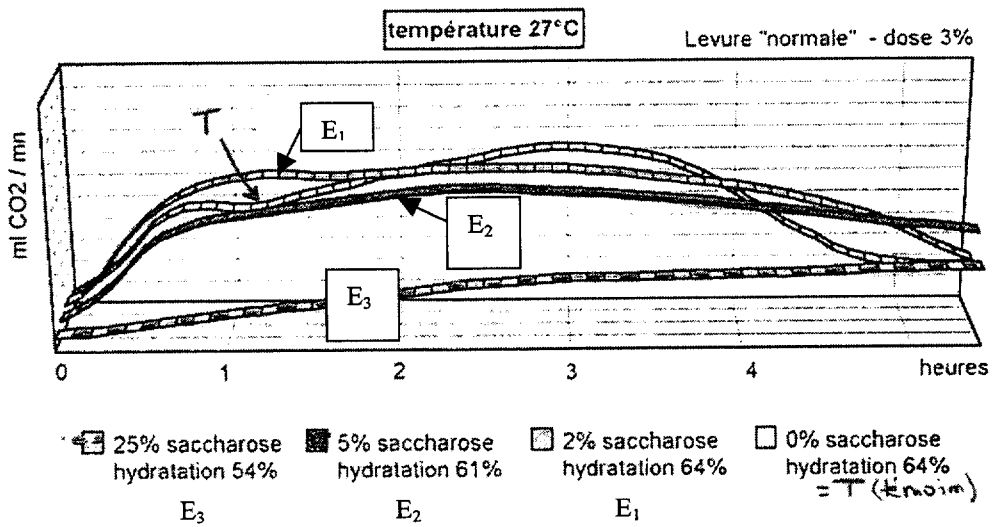
Document 10 : Évolution de la concentration en maltose (en % de pâte sèche) dans la pâte au cours du pétrissage, avec ou sans levure

Farine	150 g	150 g
Amylase fongique (USB/g)	0	0
Levure (g)	3	0
Vitesse de pétrissage (nb de rotations par minute)	100	100
Temps (min)	<u>% maltose</u>	<u>% maltose</u>
Pétrissage de la pâte		
t = 0	0.034	0.034
t = 7	1.68	1.58
t = 13	1.81	1.88
t = 19	1.91	2.13
Repos de la pâte		
t = 49	2.30	2.34
t = 55	2.28	2.53
Repos de la pâte		
t = 85	2.44	2.74

Document 11 : Incidence de la température sur la fermentation



Document 12 : Incidence de la dose de saccharose sur la fermentation



Document 13 : Variation de la flore microbienne (en germes/g) selon le type de farine

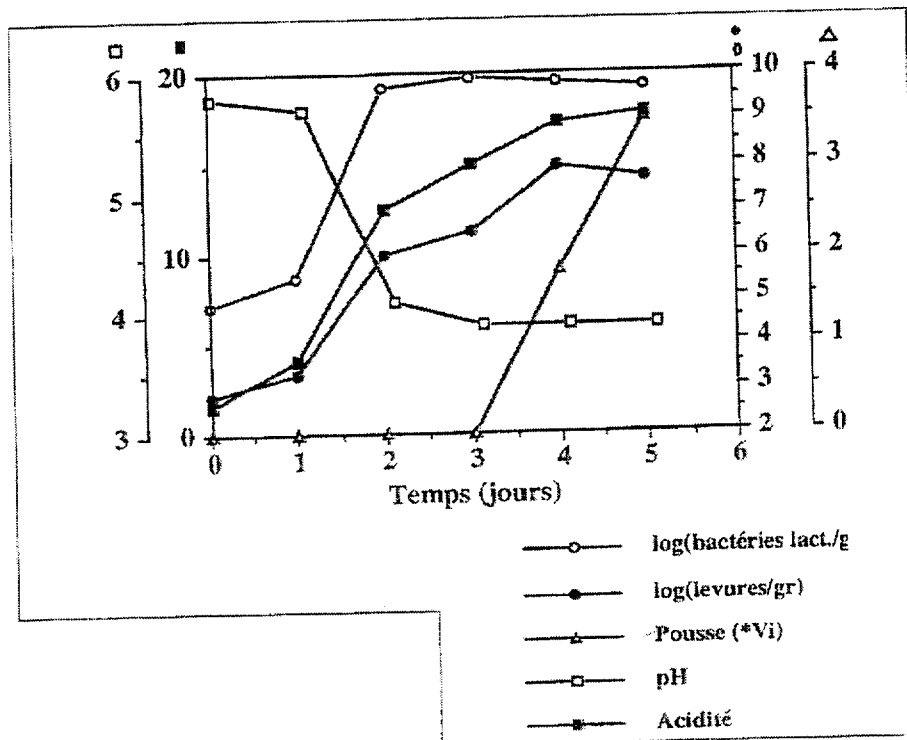
Farine	Levures	Bactéries lactiques
T55	$1,3 \cdot 10^3$	$3,2 \cdot 10^2$
T 110	$1,3 \cdot 10^4$	$3,8 \cdot 10^3$
T 150	$3,2 \cdot 10^4$	$6,2 \cdot 10^3$

Document 14 : Méthode française pour la fabrication des levains

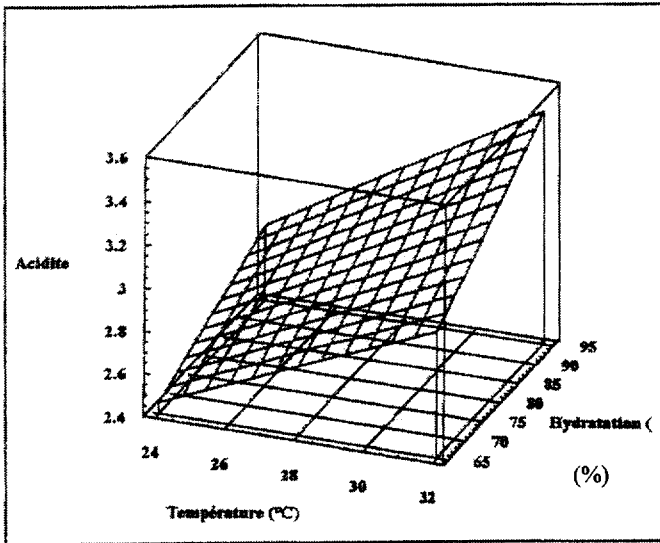
La méthode française peut se résumer à 3 phases successives :

- 1^{ère} phase : fermentation de 24 à 48 heures puis rafraîchi, cette étape correspond à une initiation et une sélection des flores ;
- 2^{ème} phase : fermentations de 8 à 24 h avec rafraîchis, permettant un développement et une sélection des espèces microbiennes, jusqu'à un équilibre du levain ;
- 3^{ème} phase : fermentations de 8 à 24 h avec rafraîchis, c'est la période d'utilisation et d'entretien du levain.

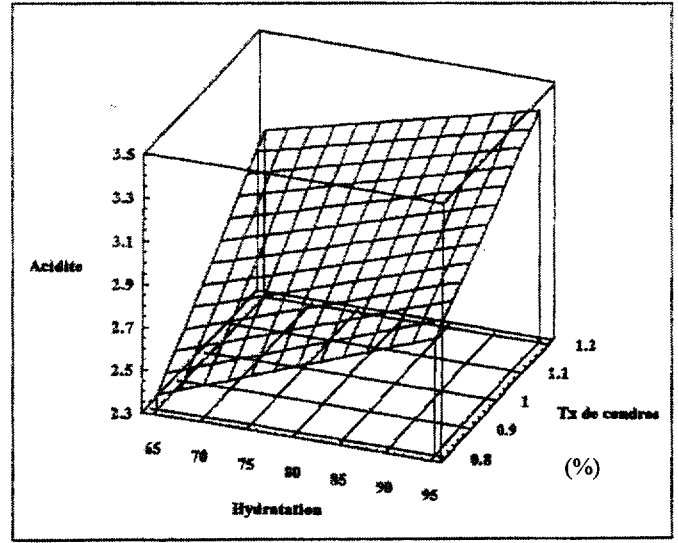
Document 15 : Cinétiques d'élaboration d'un levain



Document 16 : Acidité du levain en fonction des conditions de fabrication



① Influence de la température et de l'hydratation sur l'acidité de levain « naturel » (acidité exprimée en ml NaOH 0, 1N/g de farine)



② Influence de l'hydratation et du taux de cendres sur l'acidité de levain « naturel »

Document 17 : Teneur en acides organiques dans le pain selon le levain utilisé

	Levain A « froid et ferme »	Levain B « chaud et liquide »	Pain au levain A	Pain au levain B
Acide acétique (mg/kg)	1500	2000	600 à 700	900 à 1000
Acide lactique (mg/kg)	8000	10000	3000 à 3500	5000 à 5500