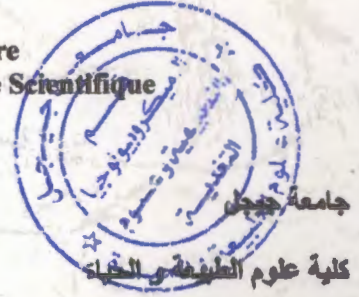


الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère De L'enseignement Supérieur et De La Recherche Scientifique



Université de Jijel

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Microbiologie Appliquée
et Sciences Alimentaires

قسم الميكروبيولوجيا التطبيقية و علوم التغذية

N.B. 11/13

Mémoire De Fin D'études Pour L'obtention Du Diplôme Des Etudes Supérieures En Biologie

Option : Microbiologie

Intitulée

$\frac{2}{2}$

**La croissance des champignons filamenteux dans
les milieux extrêmes**

Membres du jury:

Examinatrice: M^{me} . Azzouz

Encadreur: M^{me} . Bourezama

Présenté par:

Bouderaoune Samir

Année Universitaire : 2012-2013

Remerciements

Avant de présenter ce modeste travail, nous disons « louange à Allah l'éternel » qui nous a guidé toujours vers le chemin droit durant notre vie surtout dans nos années de formation universitaire.

Nous remercions toutes les personnes qui ont contribué à différents degrés à la réalisation de ce travail, particulièrement :

Nos remerciements les plus sincères à M^{me} Bourzama Ghania notre encadreur, pour sa bienveillance, ces précieux conseils et ces encouragements incessants durant notre travail, nous disons à elle merci beaucoup pour votre aide.

Le membre de jury d'avoir accepté d'examiner ce travail.

M^{me} Azzouz.

Nous exprimons notre profonde gratitude à nos enseignants,

Sans oublier de remercier toute mes amis pour leurs aides surtout Abdelouahab, Hammoudi, Kadir, Nasser, merci beaucoup pour votre aide.

Un spécial remerciement aussi à ma tante Lamia aussi pour son aide.

Nous adressons nos respectueux remerciements à M^{me} Roula S. notre chef de département.

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont participé de près et de loin à la réalisation de ce humble mémoire de fin d'études.

Sommaire

Introduction.....	01
I. Chapitre 01 : Les champignons filamenteux	
I.1. Définition.....	02
I.2. Morphologie.....	02
I.3. Classification et la reproduction.....	04
I.3.1. Les Mastigomycotina.....	05
I.3.2. Les Zygomycotina.....	06
I.3.3. Les Ascomycotina.....	06
I.3.4. Les Basidiomycotina.....	06
I.3.5. Les Deuteromycotina.....	06
I.4. Ecologie.....	07
I.5. Condition de croissance physiologique.....	07
I.5.1. Eléments nutritifs.....	07
I.5.2. Source de carbone et d'énergie.....	08
I.5.3. Source d'azote.....	08
I.5.4. Eléments minéraux.....	08
I.5.5. Facteurs physicochimiques.....	08
I.5.5.1. Température.....	09
I.5.5.2. Humidité.....	09
I.5.5.3. pH.....	09
I.5.5.4. Oxygène.....	10
I.5.5.5. Lumière.....	10
I.5.5.6. Activité de l'eau ou aw.....	10
I.5.5.7. La salinité (NaCl).....	11
II. Chapitre 02: Les milieux extrêmes	
II.1. Définition.....	12
II.2. Les différents types des milieux extrêmes.....	12
II.2.1. Les milieux salés.....	12
II.2.2. Les milieux froids.....	13
II.2.3. Les milieux chauds (tempérés).....	14
II.2.4. Les milieux sous haute pression.....	15
II.2.5. Les milieux acides.....	16
II.2.6. Les milieux basiques.....	17
II.2.7. Les roches.....	18
III. Chapitre 03: Les champignons filamenteux développés sur les milieux extrêmes	
III.1. Les champignons filamenteux isolés aux milieux extrêmes.....	19
III.1.1. Les champignons filamenteux isolés aux milieux salés.....	19
III.1.2. Les champignons filamenteux isolés aux milieux tempérés.....	19
III.1.2. Les champignons filamenteux à basse température.....	19

III.1.2.2. Les champignons filamenteux à haute température.....	20
III.1.3. Les champignons filamenteux isolés aux milieux à activités de l'eau (aw).....	20
III.1.4. Les champignons filamenteux isolés aux milieux à haute pression.....	21
III.1.5. Les champignons filamenteux isolés aux milieux acides.....	21
III.1.6. Les champignons filamenteux isolés aux milieux alcalins.....	21
III.1.7. Les champignons filamenteux aux roches.....	22
III.2. Les mécanismes de résistances aux milieux extrêmes.....	22
III.2.1. Salinité.....	23
III.2.1.1. Équilibre ionique.....	23
III.2.1.2. Accumulation des solutés compatibles.....	24
III.2.1.3. Fluidité de la membrane cytoplasmique.....	24
III.2.2. Température.....	24
III.2.2.1. Basse Température	24
III.2.2.2. Haute température.....	25
III.2.3. pH.....	26
III.2.4. Aw.....	26
III.2.5. Roches.....	27
III.3. Intérêt industriel des champignons filamenteux extrêmophiles.....	27
III.3.1. Intérêt alimentaire.....	27
III.3.2. Intérêt chimique.....	28
III.3.3. Intérêt pharmaceutique.....	28
III.3.4. Intérêt médical.....	29
Conclusion.....	30
Références bibliographiques	

Liste des figures et photos

Figure 01: Structure d'un hyphe.....	02
Figure 02: Région apicale d'un hyphe.....	03
Figure 03: architecture d'une cellule fongique.....	03
Figure 04: La croissance filamenteuse.....	03
Figure05: Classification générale des champignons.....	04
Figure 06: Cycle de vie d'un champignon filamenteux (<i>Aspergillus nidulans</i>).....	05
Figure 07: lac rose, Sénégal; Lac Asal, Djibouti; Mer morte.....	13
Figure 08: Exemple d'un écosystème hypersalé : le lac Retba du Sénégal.....	13
Figure 09:l'Antarctique est le milieu le plus froid sur Terre.....	14
Figure 10:Parc de Yellowstone, geysers.....	15
Figure 11: Sources chaudes dans le Parc national de Yellowstone – USA.....	15
Figure12: fumeur dans la fosse des Caraïbes.....	16
Figure 13: LemonadeSpring (YellowStone Park) tapis microbien.....	17
Figure14: lac Mono, Californie.....	18

Liste des tableaux

Tableau 1: Aperçus de degré de résistance des spores fongiques	23
---	-----------

Liste des abréviations

(Ps) : la pression de vapeur de d'une solution donnée.

(Pw) : la pression de vapeur de l'eau.

μm : micro mètre.

aw : Activité de l'eau.

mol/L : moule par litre.

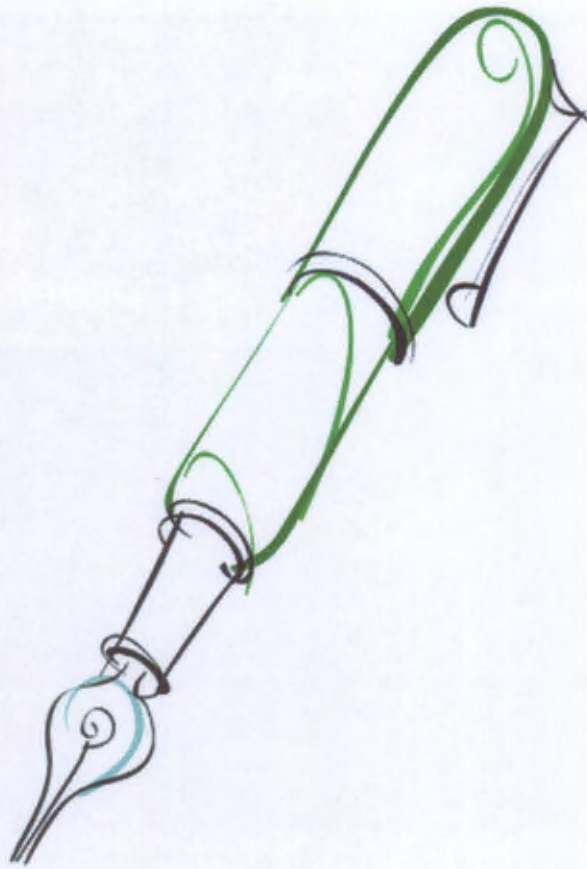
MPa : méga pascal.

nm : nanomètre.

Etude bibliographique



Introduction



Les champignons filamenteux (moisissures) sont des microorganismes eucaryotes filamenteux; l'hyphe en est l'élément structural (Mathew, 1995 ; Tortora et *al.*, 2003), ayant un métabolisme hétérotrophe (Leveau et Bouix, 1993 ; Nicklin et *al.*, 1999) .

Les facteurs physicochimiques ont une grande influence sur le développement des champignons filamenteux ainsi que sur la germination. La plupart des champignons filamenteux sont mésophiles (Botton et *al.*, 1999 ; Julien, 2002)., possèdent un besoin en eau faible par rapport aux autres microorganismes (Davet, 1996), Ils ayant une zone de pH optimal de croissance (Botton et *al.*, 1999).

Les conditions optimales de croissance peuvent varier d'une espèce à l'autre, chacune d'entre elles ayant un degré différent d'adaptation à son environnement . Certaines moisissures sont qualifiées des halophiles, psychrophiles, thermophiles, acidophiles et alcaliphiles et piézophiles (Amico et *al.*, 2006).

Un environnement ou un milieu naturel est qualifié d'extrême lorsque les paramètres physico-chimiques qu'il renferme sont le plus souvent hostiles à la vie conduisant en une spécialisation et/ou une diminution de la biodiversité existante : pH inférieur à 5 ou supérieur à 9, pression (piézophiles) supérieure à 20 MPa, température supérieure à 50°C ou inférieure à 10°C, et des concentrations en sels supérieures à 3-4 % en NaCl jusqu'à saturation (35 % en NaCl) (Amico et *al.*, 2006).

Les champignons filamenteux extrémophiles sont des organismes capables de survivre dans des conditions inhabituelles (extrêmes). Ces extrémités peuvent être soit physiques (température, pression ... etc.) soit géochimiques (pH et salinité ... etc.) (Burg, 2003). Aussi, l'objectif de notre travail est l'étude de la croissance des champignons filamenteux dans les milieux extrêmes. En effet, le travail s'articule sur :

- L'identification des champignons filamenteux ; leurs caractéristiques morphologiques
- L'étude des certains milieux extrêmes parmi lesquels les milieux froids, salés, chauds et les milieux sous haute pression et les roches, et leurs caractères écologiques.
- L'étude des mécanismes d'adaptation et de croissance des champignons filamenteux dans ces milieux extrêmes.

Chapitre I:
Les champignons
filamenteux



L1. Définition:

Les champignons (fungi ou mycètes) constituent un groupe des microorganismes eucaryotes unicellulaires (levures) ou pluricellulaires filamenteux (champignons filamenteux ou moisissures), incluant des espèces macroscopiques (macro mycètes) et d'autres microscopiques (micromycètes) hétérotrophes ils tirent leur énergie de la respiration et de la fermentation des matières organiques solubles disponibles dans leur environnements, ubiquistes, riche de quelques 120000 espèces, présentant des structures et des caractéristiques biologiques extrêmement diversifiées (Leveau et Bouix, 1993 ; Senal et *al.*, 1993 ; Nicklin et *al.*, 1999 ; Anonyme a, 2000 ; Anonyme b, 2000 ; Kirk *et al.*, 2001).

L2. Morphologie:

L'organisation cellulaire de base des champignons est le talle (hyphe), qui constitue l'appareil végétatif. Celui-ci se caractérise par une grande variation de structure, le plus souvent une forme filamenteuse pouvant présenter un large degré considérable de différenciation. L'ensemble des filaments (ou hyphe) est appelé : mycélium (Boiron, 1996) (figure 01).

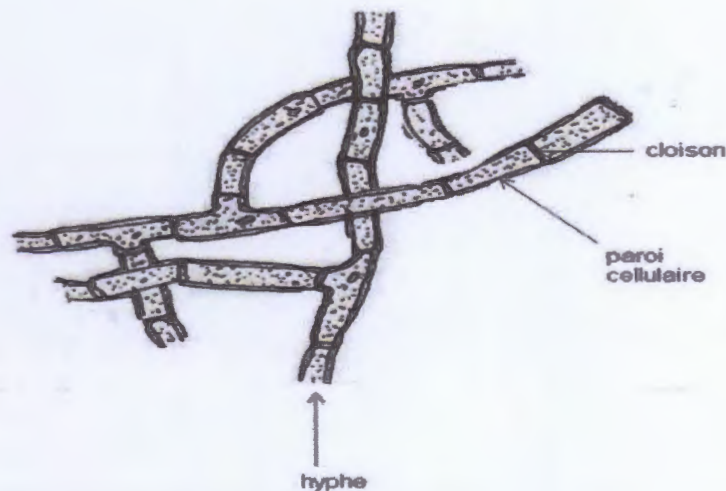


Figure 01: Structure d'un hyphe et son développement vers la formation d'un mycélium (Chabasse et *al.*, 2002).

Les hyphes sont des sortes de tuyaux plus ou moins large (2à15µm), de diamètre généralement constant pour une espèce donnée, contenant le cytoplasme qui contient les organelles comme c'est le cas chez tous les eucaryotes. La rigidité des hyphes est assurée par une paroi faite de fibrilles de chitine ou de cellulose (Davet, 1996), leur croissance est strictement

apicale (figure 02, 03 et 04). Ce comportement s'oppose à la croissance d'intercalaire (Botton, 1990).

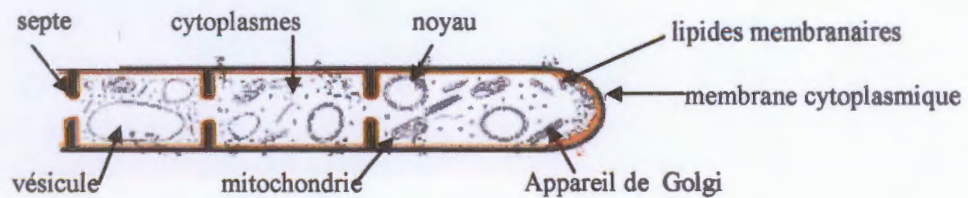


Figure 02: Région apicale d'un hyphe (Botton, 1990).

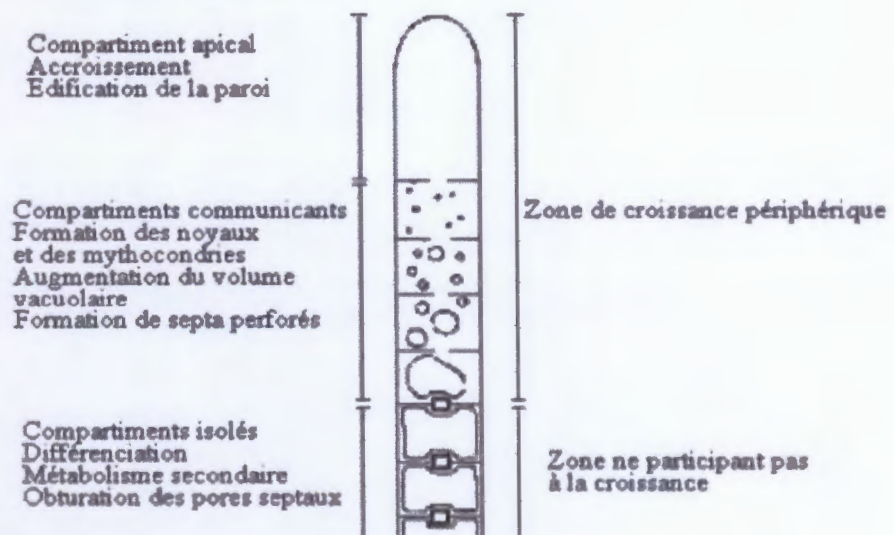


Figure 03: architecture d'une cellule fongique (Botton, 1990)



Figure 04: La croissance filamenteuse (Tortora et al., 2003).

Chez la plupart des mycètes, les hyphes sont divisés par des cloisons, ou septes (septum au singulier) formant des unités qui ressemblent à des cellules distinctes avec un seul

noyau, on les appelle alors hyphes segmentés ou septés. Dans quelques classes de mycètes, les hyphes ne contiennent pas des cloisons et ont l'aspect de longues cellules continues à noyau multiples ; ils sont appelés coénocytes (Tortora et al., 2003).

Les spores se forment à partir du mycélium selon des procédures plus ou moins différenciées, mais en tous cas très variés. Elles peuvent être solitaire, groupées en chaînes, ou en têtes portées à la surface du mycélium ou contenue dans des enveloppes cellulaires (Roquebert, 1997).

Les hyphes, segmentés ou non, sont en fait de petits tubules transparents entourés d'une paroi cellulaire rigide formée des polymères de chitine et de cellulose, éléments chimiques qui lui confèrent une grande rigidité, une longévité et une grande capacité de résistance à la chaleur et à des pressions osmotiques élevées. De ces faits, les mycètes sont donc capables de vivre dans un environnement rude (Tortora et al., 2003).

L3. Classification et reproduction:

La classification de Hawksworth, Sutton et Ainsworth (1970) modifiée par Kwon Chung et Bennett (1992), puis par De Hoog (1995), est la plus utilisée actuellement. On différencie quatre divisions selon les modalités de la reproduction sexuée : les *Mastigomycotina* (*Chytridiomycètes* et *Oomycètes*) ; les *Zygomycotina* ; les *Ascomycotina* et les *Basidiomycotina*.

En outre, lorsque la reproduction sexuée n'est pas connue, la division est appelée *Deuteromycotina* ou *Fungi imperfecti* (Chabasse, et al., 2002) (Figure 05).

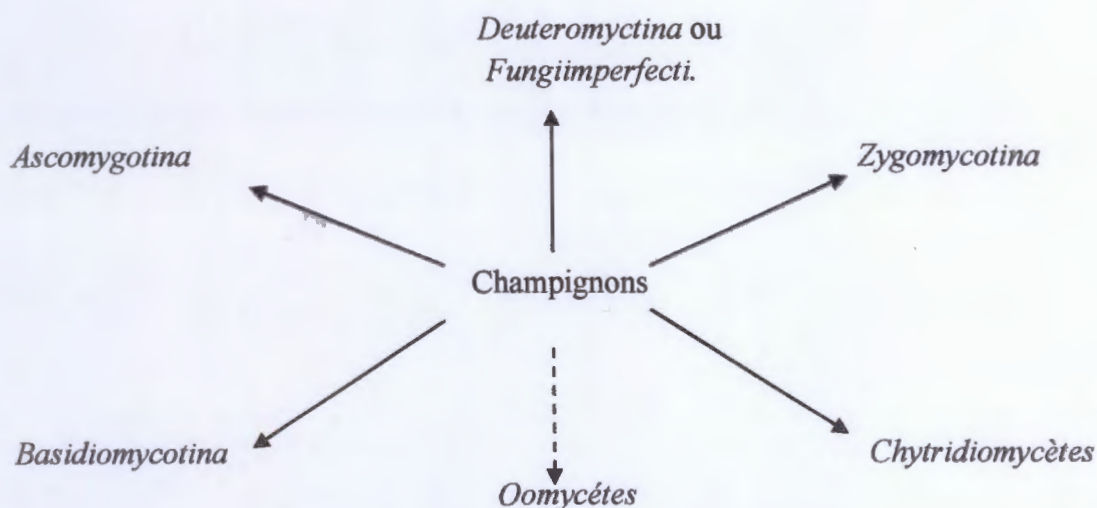


Figure 05: Classification générale des champignons (Hoog, 1995 ; Chabasse, et al., 2002).

La complexité des cycles de reproduction sexuée ou asexuée est l'un des éléments qui ont entraîné la création d'un règne à part pour les champignons filamenteux (figure 06). La classification des espèces est d'ailleurs fondée sur ces particularités. La reproduction asexuée se réalise différemment selon l'espèce: par bourgeonnement chez la levure, par individualisation d'un des segments d'une hyphe ou par formation de spores asexuées (Roquebert , 2002).

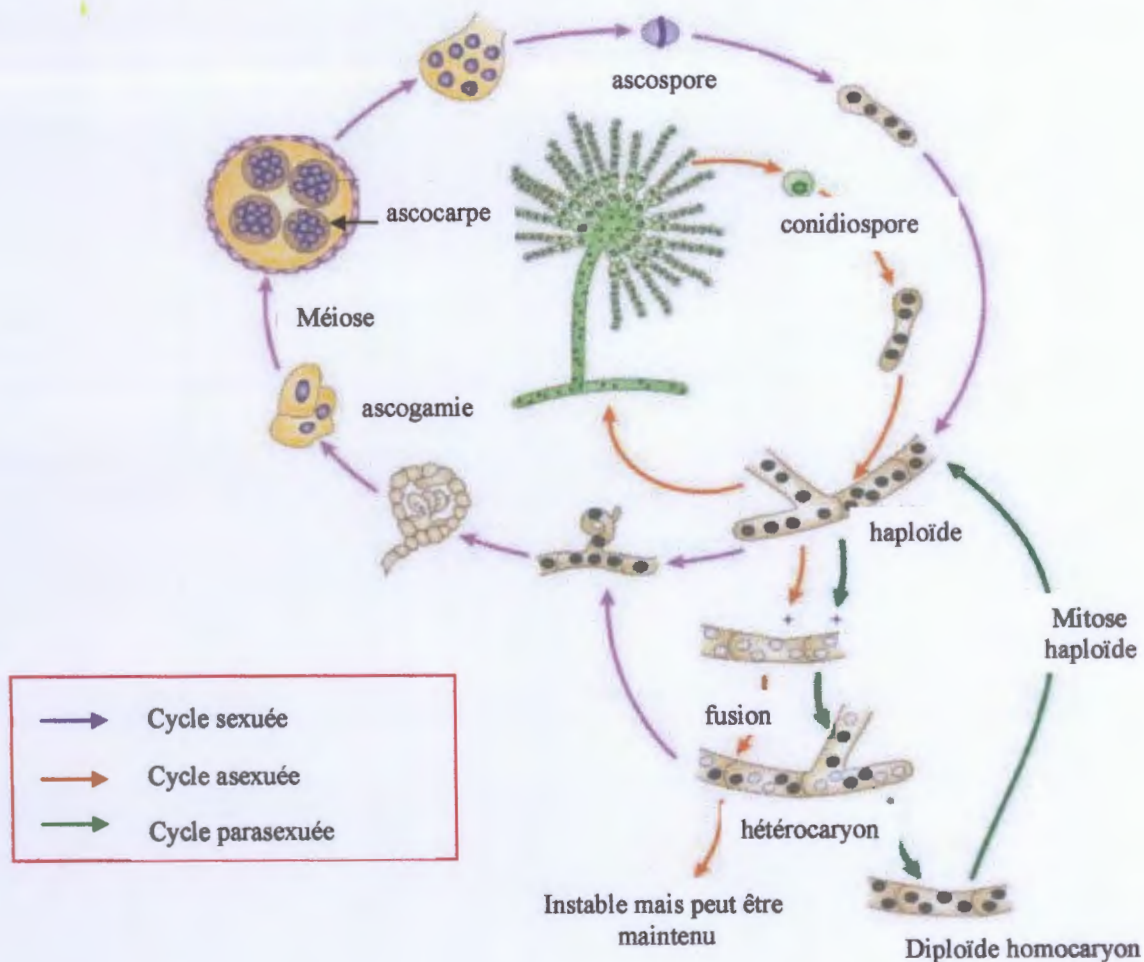


Figure 06: Cycle de vie d'un champignon filamenteux (*Aspergillus nidulans*) (Casselton et Zolan, 2002).

I.3.1. Les *Mastigomycotina*:

Les *Mastigomycotina* se répartissent en deux classes : les *Chytridiomycètes* et les *Oomycètes*. Ils sont caractérisés par la présence de spores munies de flagelles (un pour les *Chytridiomycètes*, deux pour les *Oomycètes*) cependant, aujourd'hui la nomenclature ne retient dans le règne des champignons que les *Chytridiomycètes*, en raison de la présence de la chitine dans leur paroi et de leur nutrition qui se fait par absorption (Chabasse et al., 2002).

I.3.2. Les Zygomycotina:

Les Zygomycotina qui comprennent environ 200 espèces, rassemblent les champignons saprophytes, ainsi que des champignons parasites d'insectes (Entomophtorales), de Nématodes, d'Amibes, et de plantes (Boiron, 1996).

Ils sont caractérisés par la production des spores sexuées appelées Zygosporées, et se différencient des autres champignons dits supérieurs (*Ascomycotina* et *Basidiomycotina*): le mycélium végétatif est plus large, souvent dilaté, peu ou pas cloisonné, et la reproduction asexuée est dite endogène (Chabasse, et al., 2002).

I.3.3. Les Ascomycotina:

Ces champignons à thalle filamenteux septés ou levuroïdes, présentent une structure caractéristique appelée asque, est un sporocyste particulier formé au cours de la reproduction sexuée (Botton et al., 1990). Ce asque, généralement octosporée seront libres (levures ascospores ou hémiascomycètes) ou produits à l'intérieur d'un organe protecteur de forme variable appelé: ascocarpe (ascomycètes vrais ou Euascomycètes) (Chabasse et al., 2002).

I.3.4. Les Basidiomycotina:

Les Basidiomycotina sont les champignons les plus évolués. Ils comprennent de nombreuses espèces à fructification développée ou carpophore (Boiron, 1996). Les Basidiomycotina sont caractérisés par la production des spores sexuées (appelées basidiospores) formées par bourgeonnement à l'apex des cellules allongées, les basides. Ils ont un thalle cloisonné avec présence des « boucles » au niveau des cloisons (Chabasse et al., 2002).

I.3.5. Les Deuteromycotina:

Encore appelée : *fungi imperfecti* (champignons imparfaits), les Deuteromycotina ne présentent jamais, ou très exceptionnellement, de forme de reproduction sexuée. La plupart présentent, néanmoins, des similitudes avec les Ascomycètes. Ils se produisent uniquement par voie végétative au moyen des spores asexuées ou par simple fragmentation du mycélium septé (Boiron, 1996).

Les Deuteromycotina sont divisés en trois classes :

- Les Blastomycètes qui regroupent l'ensemble des champignons levuriformes

- Les Hyphomycètes qui regroupent les champignons filamenteux à thalle septé dont les cellules conidiogènes (production des spores ou conidies) sont libres.
- Les Coelomycètes qui rassemblent les champignons filamenteux dont les cellules conidiogènes sont contenues dans des organes protecteurs appelés pycnides ou acervules (Chabasse et *al.*, 2002).

Les champignons filamenteux possèdent un appareil végétatif constitué par un thalle filamenteux, le mycélium, dont les filaments s'appellent des hyphes. Le mycélium peut différencier des organes forts variés selon les groupes, spécialisés dans la multiplication et la dissémination, auxquels on accorde la dénomination globale de spores (Bourgeois, 1989).

I.4. Ecologie:

Dans leur milieu naturel, la plupart des champignons filamenteux sont saprophytes, tirant leur nourriture de matières organiques mortes ou plus ou moins décomposées. Même, si toute matière organique peut constituer un substrat de croissance pour les champignons filamenteux, les conditions optimales de croissance peuvent varier d'une espèce à l'autre, chacune d'entre elles ayant un degré différent d'adaptation à son environnement (Halewyn et *al.*, 2002). Ils présentent partout et établissent aussi avec les espèces animales ou végétales des interactions qui vont du parasitisme, en passant parfois par le commensalisme, ou encore participent à des phénomènes symbiotiques, traduction vraisemblable de leur co-évolution avec les végétaux d'une part, et les animaux d'autre part (Chabasse et *al.*, 2002).

I.5. Conditions de croissance physiologique:

Les champignons filamenteux se propagent sur différents substrats, par l'intermédiaire de spores qui sont des corpuscules de 2 à 250 μm de diamètre. Les spores sont disséminées principalement par l'air ambiant ou par le contact de l'homme. Lorsqu'elles se déposent sur un substrat organique, tel que le support de papier, elles germent si les conditions d'humidité et de température y sont favorables. Elles y pénètrent par voie chimique (production d'enzymes, de toxines) ou par voie mécanique en exerçant une pression sur le substrat (Chabasse et *al.*, 1999).

I.5.1. Éléments nutritifs:

Les champignons filamenteux sont des microorganismes hétérotrophes, elles exigent donc la présence des éléments nutritifs de base (carbone, azote et ions minéraux) dans le milieu qui assure leur croissance. Ils possèdent une panoplie enzymatique extrêmement riche qui leur permet d'utiliser plus efficacement encore que les bactéries les substrats les plus complexes.

Leur digestion doit commencer dans le milieu extérieur par des enzymes excrétées (extracellulaires) ou liées à la paroi, car seules les molécules de taille relativement petite peuvent franchir les parois et gagner le cytoplasme (Davet, 1996).

I.5.2. Source de carbone et d'énergie:

Pratiquement tous les composés organiques peuvent être utilisés comme source de carbone et d'énergie par les moisissures. La plupart d'entre elles peuvent métaboliser le glucose et le saccharose avec quelques polysaccharides comme l'amidon et la cellulose (Boiron, 1996 ; Nicklin et *al.*, 2000).

Certaines d'entre elles produisent des lipases extracellulaires capables d'hydrolyser les lipides en glycérol et acides gras qui peuvent être assimilés par beaucoup d'espèces fongiques, alors que seulement certaines espèces utilisent les acides organiques et l'éthanol (Boiron, 1996).

I.5.3. Source d'azote:

La plupart des champignons filamenteux assimilent l'ammoniaque sous forme de sels (NH_4^+) dont la présence réprime l'utilisation d'autres sources azotées (nitrate, acides aminés, protéines). L'ammoniaque est transformé en acide glutamique, en glutamine ou en d'autres acides aminés par transamination (Boiron, 1996), alors que seules certaines espèces utilisent le nitrate, d'autres ne peuvent croître qu'en présence d'azote organique et aucun champignon filamenteux ne peut fixer l'azote atmosphérique (Punt et *al.*, 2002).

I.5.4. Eléments minéraux:

La présence des ions minéraux et métaux dans le milieu de culture est nécessaire pour la croissance et la reproduction de plusieurs espèces fongiques, il s'agit essentiellement de sulfate, de magnésium, de potassium, de sodium et de phosphore avec des concentrations plus ou moins différentes selon l'espèce (Uchicoba et *al.*, 2001). Des traces d'éléments tels que le fer, le cuivre, le manganèse, le zinc et le molybdène, sont nécessaires à la plupart des champignons filamenteux pour la production des cytochromes, des pigments, des acides organiques,... etc (Boiron, 1996).

I.5.5. Facteurs physicochimiques:

Les facteurs physicochimiques ont une grande influence sur le développement des champignons filamenteux ainsi que sur la germination, nous examinerons successivement quelques paramètres importants.

I.5.5.1. Température:

La température joue un rôle prépondérant dans la croissance mycélienne, elle intervient également dans la sporulation et la germination des spores (Bourgeois, 1989). La plupart des champignons filamenteux sont mésophiles avec des optimum de croissance de 25 à 35°C (Botton et al., 1999 ; Julien, 2002). Quelques espèces sont thermotolérantes ou thermophiles et peuvent croître à haute température (au dessus de 50°C) avec une croissance optimale aux environ de 20 à 25°C, *Aspergillus fumigatus* est un bon exemple (Botton et al., 1999 ; Nicklin et al., 2000). D'autres sont des psychrophiles ou psychrotolérantes se développant à basses températures (entre -5°C et 10°C) tels que *Helicostylum pulchrum*, *Chrysosporium pannorum* et *Cladosporium herbarum*, ces espèces peuvent survivre même à -60°C, on les rencontre dans des entrepôts frigorifiques (Davet, 1996 ; Botton et al., 1999).

I.5.5.2. Humidité:

Les champignons filamenteux ont en général un besoin en eau faible par rapport aux autres microorganismes (Davet, 1996). Néanmoins, l'humidité a une grande influence sur le développement des champignons filamenteux non seulement sur la croissance mycélienne et la sporulation mais plus particulièrement sur la germination des spores (Bourgeois, 1989).

Les champignons filamenteux à mycélium non cloisonné sont les plus sensibles à la dessiccation ; leur développement cesse lorsque le potentiel hydrique descend au-dessous de -4 MPa (méga pascal). Les champignons filamenteux à mycélium cloisonné supportent en moyenne jusqu'à -10 MPa. Cependant, les *Aspergillus* et les *Penicillium* peuvent en général se développer à des potentiels hydriques de l'ordre de -20 MPa (Davet, 1996).

I.5.5.3. pH:

La grande majorité des champignons filamenteux se développent dans une zone de pH de 4.5 – 8.0 (Botton et al., 1999), bien qu'ils soient capables de croître dans une large gamme de pH avec une tendance à croître dans des milieux légèrement acide .C'est le cas de *Fusarium culmorum*, *Trichoderma harzianum* et *Aspergillus oryzae* (Urbanek et al., 1984 ; Delgado-Jarana et al., 2002). Cependant, les enzymes extracellulaires produites dans des milieux complexes peuvent avoir des optima de pH d'activité très différents (plus acides ou plus basiques) (Botton et al., 1999).

Le pH influe sur la croissance de ces microorganismes soit indirectement en agissant sur la disponibilité des éléments nutritifs (à pH acide, le fer reste sous forme d'ions ferreux

assimilable), soit directement par action sur la membrane cellulaire. Par ailleurs, les champignons filamenteux modifient souvent le pH du milieu par absorption sélective et échange d'ions, production de CO₂ ou de NH₃ ou par production d'acides (Boiron, 1996).

I.5.5.4. Oxygène:

La quantité d'oxygène mise à la disposition des champignons filamenteux est un facteur important de développement. La plupart sont aérobies, les plus exigeantes vivent dans les régions périphériques des substrats, les moins exigeants peuvent se développer en profondeur comme *Fusarium oxysporum* et *Aspergillus fumigatus*. Certaines peuvent même supporter une anaérobiose très stricte comme *Neocallimastix* (Bourgeois, 1989 ; Botton et al., 1999).

I.5.5.5. Lumière:

Les radiations du spectre visible (380 et 720 nm) n'ont en général pas d'action sur la croissance végétative des champignons mais peuvent agir sur la sporulation. La plupart des champignons filamenteux n'exigent pas de lumière pour leur croissance, ni pour la germination de leurs spores (Botton et al., 1999).

I.5.5.6. Activité de l'eau ou aw:

Il existe différents termes pour décrire la présence d'eau dans les matériaux. Cependant, dans un contexte de champignons filamenteux pouvant croître dans des conditions variables de disponibilité en eau, de nombreux scientifiques utilisent le concept d'activité de l'eau. L'activité de l'eau, notée aw, se définit comme le rapport entre la pression de vapeur de l'eau d'une solution donnée (Ps) et celle de l'eau pure (Pw) à une température donnée (Baker et al., 2001). L'activité de l'eau est arbitrairement fixée à 1 ($aw = Ps/Pw$). L'activité de l'eau se situe entre 0 (absence d'eau) et 1,0 (eau pure). Il s'agit d'un indicateur important de la capacité du matériau à supporter la croissance microbienne. Théoriquement, les limites pour la croissance microbienne s'étendent de 0,65 à 1 avec une limite inférieure absolue de 0,55. En pratique, si l'aw dans le matériau peut être maintenu sous les 0,75 la croissance microbienne sera limitée, tandis qu'il n'y aura pratiquement aucune croissance microbienne sous une aw de 0,65 même sur les matériaux les plus facilement attaquables. Les spores de champignons filamenteux pourront toutefois rester viables sous ces valeurs et sur de longues périodes de temps. Malheureusement, il n'existe actuellement aucune technique utilisable sur le terrain permettant de fournir des mesures directes des niveaux de aw. Plusieurs investigateurs mesurent à l'aide d'un humidimètre le « contenu en humidité » d'un matériau à titre d'indicateur

pour son potentiel à supporter la croissance fongique (Carlile *et al.*, 2001). Cependant, il faut apporter à ces lectures des corrections tenant compte du type de matériau et de la température pour leur interprétation et leur conversion en aw (Ruest, 2002).

I.5.5.7. Salinité (NaCl):

Les microorganismes peuvent être classifiés selon leur concentration en sel de NaCl :

- Les halophiles, se développent de façons optimales à 0.2 et 0.85 mol/L (2-5%) de NaCl.
- Les halophiles modérés se développent de façons optimales à 0.85 et 3.4 mol/L (5-20%) de NaCl.
- Les halophiles extrêmes se développent de façons optimales à 3.4 et 5.1 mol/L (20-30%) de NaCl. En revanche, les non halophiles se développent de façons optimales à moins de 0.2 mol/L.
- Les halotolérants peuvent se développer dans la salinité élevée et en l'absence d'une concentration élevée des sels (Galinski, 1993).

Chapitre II: Les milieux extrêmes

II.1. Définition:

Les environnements modérés ou les milieux naturels sont importants pour soutenir la vie. Ils sont caractérisés par des valeurs moyennes de facteurs environnementaux ; pH près du neutre, température entre 20°C et 40°C, pression atmosphérique inférieure à 1, des niveaux proportionnés de l'eau et présence suffisantes d'aliments et de sels. (Satyanarayana *et al.*, 2005).

N'importe quel état environnemental qui peut être perçu comme au-delà de la gamme acceptable normale est un état extrême. Beaucoup d'environnements extrêmes, tels que les ressorts acides ou chauds, lacs salins et/ou alcalins, déserts et les lits d'océan sont également trouvés en nature, qui est trop dur pour que la vie normale puisse exister. Une variété de microbes, cependant, survit et se développe dans de tels environnements. Ces organismes, connus sous le nom d'extrémophiles, tolèrent non seulement la condition (extrême spécifique), mais exigent habituellement ces derniers pour la survie et la croissance. La plupart des extrémophiles sont trouvés en monde microbien. La gamme des extrémités environnementales tolérées par des microbes est beaucoup plus large que d'autres formes de la vie. Les limites de la croissance et de la reproduction des microbes sont, -12°C à plus que +100°C, pH 0 à 13, pressions hydrostatiques jusqu'à 1400 atmosphères et concentrations en sel des saumures saturées. En plus des environnements extrêmes naturels, il y a des conditions extrêmes synthétiques telles que les maisons fraîches, les bâtiments de chauffage par vapeur et la mine acide (Satyanarayana *et al.*, 2005).

II.2. Les différents types des milieux extrêmes:

De nombreuses équipes de recherche dans le monde étudient des micro-organismes qualifiés d'extrémophiles qui, pour certains, vivent en présence de sel à forte concentration (halophiles), pour d'autres à des températures froides ou chaudes (psychrophiles et thermophiles), dans des milieux très acides ou basiques (acidophiles et alcaliphiles) ou piézophiles pour les milieux haute pression (Amico *et al.*, 2006).

II.2.1. Les milieux salés:

Dans la nature, la plupart des cas de salinité sont dus aux sels de sodium et surtout au NaCl (Senal *et al.*, 1993). La haute salinité compromet des fonctions biologiques dans les écosystèmes et cause la dégradation des ressources de sol et de l'eau (Tanji, 1990; Sumner et Naidu, 1998 ; Sumner, 2000; DasSarma et Arora, 2001 ; Anonyme, 2004). Bien que les océans soient de loin, la plus grande eau superficielle saline des environnements hypersalins (totaux des sels 3.5%). Il existe cependant des habitats plus spécifiques et plus localisés tels que

les marais salants ou les lacs salés colonisés par les micro-organismes hyperhalophiles (figure 7 et 8). La composition physico-chimique notamment de ces lacs varie avec la topographie environnante et la géologie (Kamekura, 1998).



Figure 07: lac rose, Sénégal; Lac Asal, Djibouti; Mer morte (Guillaume, 2008).



Figure 08: Exemple d'un écosystème hypersalé: le lac Retba du Sénégal (Magot, 1998).

II.2.1. Les milieux froids:

Il y a un éventail d'habitats normaux où les basses températures se produisent sans interruption ou par intermittence en raison des effets saisonniers. Ces régions incluent les océans, la toundra et des régions subarctiques, bien que les océans aient une température stable de $T < 5^{\circ}\text{C}$ (Morita, 1974), il y a des difficultés distinctes en étudiant réellement de tels systèmes écologiques en raison des effets de la pression (Robinson, 2001).

Les milieux froids tels que, des secteurs polaires, des sols et des lacs alpestres, des champs de neige et de glace, et des cavernes. Il y a beaucoup de régions climatiques où les températures très froides d'hiver sont suivies des températures tout à fait chaudes en mois d'été.

Ici, hiverner et survie sont d'importance critique pour la concurrence efficace dans la saison suivante (Mazur, 1966).

Les données a confirmé que 80% de la biosphère existe à -3 et 7°C et que 90% du volume des eaux marines est au-dessous de 5°C (Smith 1993).

Gounot (1986) a noté que 0°C n'est pas seulement un état extrême mais même si les autres facteurs qui créent des conditions défavorables (par exemple, activité basse de l'eau dans le sol antarctique aride, un manque de nutriments et pression en mer profonde).



Figure 09: l'Antarctique est le milieu le plus froid sur Terre. $T < -89,2^{\circ}\text{C}$ sur la base de Vostok (Richard et Mount, 1972).

II.2.3. Les milieux chauds (tempérés):

Un microorganisme thermophile est défini en tant que la croissance minimum à 20°C ou en haut et une croissance maximum à 50°C ou en haut (Tansey et Brock, 1973).

On les trouve dans les régions volcaniques et dans les sources hydrothermales continentales. La plupart proviennent principalement des fonds marins, au niveau des sources hydrothermales des dorsales océaniques (Thomas, 1969).

Ces écosystèmes peuvent avoir une origine géothermique terrestre : la nature de l'eau va dépendre des roches traversées et elle est généralement associée à une activité volcanique ; la température de l'eau *in situ* sera fonction de la profondeur d'origine pour atteindre des températures inférieures 50 à 100°C et des pH acides ou basiques à la surface de la terre. C'est le cas des sources chaudes localisées en Islande, aux Açores ou encore dans le Parc national de Yellowstone (figure 10 et 11) ; hydrothermale océanique profonde: le fluide hydrothermal jaillit au niveau du plancher océanique au travers de fumeurs noirs où le liquide sort à des températures variant de 20 à 400°C selon la localisation (Madigan et Martinko, 2007).



Figure 10: Parc de Yellowstone, geysers ($T_{\text{eau}} > 70^{\circ}\text{C}$) (Thomas, 1969).



Figure 11: Sources chaudes dans le Parc national de Yellowstone – USA (Magot, 1998).

II.2.4. Les milieux sous haute pression:

Ces milieux sont présents dans les grands fonds ou dans la croûte terrestre. La profondeur moyenne des océans est de 3800 mètres (380 MPa) avec un maximum à 10790 mètres au plus profond de la Fosse des Mariannes où la pression atteint 110 MPa (Figure 12).



Figure 12: fumeur dans la fosse des Caraïbes, (~5000m) (Southampton, 2010).

Outre le milieu aquatique marin, il est possible de retrouver de tels micro-organismes dans les aquifères profonds, la croûte terrestre ou les réservoirs pétroliers (Yayanos, 1995).

II.2.5. Les milieux acides:

Les environnements où sont retrouvés les micro-organismes acidophiles ont généralement un $\text{pH} < 4$, et sont souvent riches en métaux lourds (fer, arsenic, cuivre, zinc, chrome...) et métalloïdes. Ils peuvent avoir pour origine des activités volcaniques où l'acidité résulte de l'activité oxydative aérobie microbienne (mésophile ou thermophile) du soufre élémentaire (S) en sulfates et ions hydrogène (H^+) et les activités minières où les composés sulfurés (principalement la pyrite: FeS_2) subissent les attaques abiotiques et biotiques en conditions oxydantes pour donner des écoulements d'eaux minières acides composées d'hydroxyde de fer, de sulfates et d'ions hydrogène (H^+). La plupart de ces micro-organismes sont des chimio-lithotrophes acidophiles dont le métabolisme cellulaire est basé sur l'oxydation des composés ferreux et soufrés (Fardeau et al., 2005).

L'écosystème acide le plus étudié est le Río Tinto en Espagne avec un $\text{pH} < 2$, une longueur de 100 km de long, une concentration importante en métaux lourds et un surprenant niveau de diversité microbienne, (Figure 13) (Fardeau et al., 2005).



Figure 13: Lemonade Spring (YellowStone Park) tapis microbien de 1 cm à 42°C, formé par une algue thermophile et acidophile (pH 2-3): le cyanidium (Kathy Sheelan; David et Patterson, 2001).

II.2.6. Les milieux alcalins (basiques):

Les microorganismes alcaliphiles vivent à un $\text{pH} \geq 9$. Parmi celles-ci, on reconnaît les alcalitolérantes capables de se développer à $\text{pH} \geq 9$ mais avec un pH optimum de croissance proche de la neutralité et les alcaliphiles dont le pH optimum de croissance est ≥ 9 . Les microorganismes alcaliphiles peuvent également être halophiles et se développer jusqu'à des concentrations en sel (NaCl) proches de la saturation (35 % de NaCl), notamment dans les lacs déserts sodiques ou les sources alcalines. L'alcalinité du milieu ambiant est induite par la forte concentration en carbonate, mais la différence d'un milieu à un autre se situe au niveau de la salinité. En ce qui concerne les environnements alcalins salés à fortement salés, ce sont des bassins fermés où la vitesse d'évaporation est élevée et permet d'atteindre une salinité de 35% en NaCl pour des pH compris entre 8 et 12. Ces lacs aux couleurs pouvant aller du vert au rouge, en passant par le rose ou l'orange selon la saison et l'ensoleillement se retrouvent sur les continents américain, australien, africain, asiatique et même en Europe. La diversité microbienne retrouvée dans ces environnements est très variée (Fardeau *et al.*, 2005).

À l'inverse les environnements alcalins faiblement salés sont plus rares. Ces sources thermales alcalines présentent de fortes concentrations en calcium avec un $\text{pH} > 11$. Elles sont localisées en Californie, Oman, Chypre, en ex-Yougoslavie et en Jordanie (Figure 14) (Fardeau *et al.*, 2005).

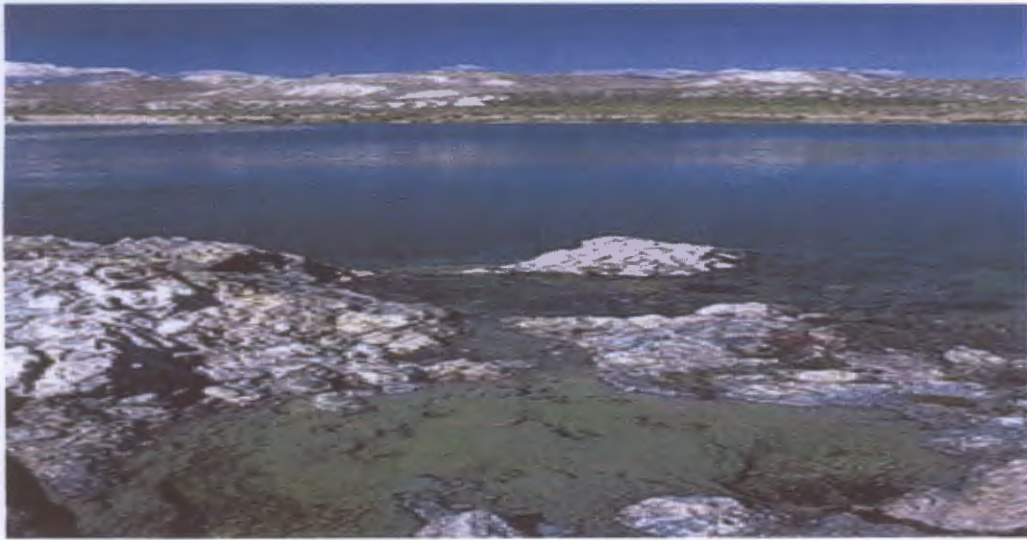


Figure 14: lac Mono, Californie: une coulée d'eau en provenance d'une source chaude sur l'île Paoha se jette dans le lac (pH=9) (Brett, 2001).

II.2.7. Les roches:

Des roches qui sont exposées au rayonnement solaire élevé, aux températures, à la basse disponibilité nutritive, à la concentration élevée en électrolyte, et à la basse hygrométrie, où l'humidité est disponible seulement sporadiquement, peuvent être considérées extrêmes des environnements et sont colonisés par des espèces uniques des mycètes soumettre à une contrainte-stress-tolérant (Urzi et *al.*, 1995 ; Sterflinger et Krumbein, 1997 ; Sterflinger et *al.*, 1999).

Chapitre III:

Les champignons

filamenteux développés sur

les milieux extrêmes

III.1. Les champignons filamenteux isolés aux milieux extrêmes:

III.1.1. Les champignons filamenteux isolés aux milieux salés:

Diverses espèces microbiennes adaptent aux différentes gammes de salinités, pendant que la saumure est concentrée de 1 mol/L à 3.5 mol/L (DasSarma et Arora, 2001). Les microorganismes halophiles et halotolérants sont trouvés dans chacun des trois types de vie : *Archea*, *Bacteria* et *Eucarya* (Oren, 1999 ; Benlloch et al., 2000 ; Gunde-Cimerman et al., 2000 ; Litchfield et Gillevet, 2002).

Considérant que les champignons filamenteux et d'autres microbes sont communs dans les environnements extrêmes salins, tels que des marais de sel, des sols salins, et l'eau de mer (Trüper et Galinski, 1986). Les champignons filamenteux extrêmophiles ont été découverts surtout dans les environnements dont la salinité s'étend entre 15 et 32% de NaCl (Gunde-Cimerman et al., 2002).

Des mycètes halotolérants, tels que *Basipetospora werneckii*, et des *Aspergillus penicilloides* souvent sont isolés dans les poissons salés ou secs (Malik et al., 1982).

Aspergillus halophilicus, *Scopulariopsis* et *halophila* sont des espèces halophiles qui ont été isolées dans de divers sols salins et des régions aride (Abdel-Hafez et al., 1989).

III.1.2. Les champignons filamenteux isolés aux milieux tempérés:

III.1.2.1. des champignons filamenteux à basse température:

Les micro-organismes psychrophiles qui sont capables de la croissance au-dessous de 10°C. Ils sont répandus dans normal environnements aussi bien qu'en des nourritures (Smith, 1993). Ils ont des températures optimales de croissance qui s'étendent jusqu'à 16°C et à une température maximum de croissance de 20°C, mais ils peuvent également se développer à 0°C (Gounot, 1986).

Dans l'ancienne étude, les psychrophiles étaient d'une matière prédominante des espèces de *Mortierella* et des espèces de *mucor*, tandis qu'à 25°C, la communauté a été dominée par les ascomycètes filamenteux. Dix-huit isolats représentant cinq espèces des ascomycètes filamenteux (*Heteroconium chaetospira*, *Leptodontidium obscurum*, *Microsphaeropsis* sp et *Myrioconium* sp.) et cinq contraintes stériles ont été isolés dans le sol et les échantillons de litière végétale rassemblés des cônes de glacier, des champs de neige, et d'un étang à un avant de glacier en Suisse (Petrini et al., 1992). Ces taxa ont été considérés psychrophiles. Dans des régions polaires, l'occurrence des mycètes est couplée pour arroser la disponibilité, car elle est dans des écosystèmes chauds de désert (Cameron et al., 1976).

Les champignons filamenteux qui résistent au froid, en revanche, ont les températures maximum de croissance au-dessus de 20°C, bien qu'ils puissent se développer à psychrophile 10°C. Ces champignons sont trouvés dans les genres tels qu'*Alternaria*, *Osporium*, *Keratinomyces*, *Leptomitus*, *Mucor*, *Penicillium*, *Rhizopus* et *Typhula* (Cameron et al., 1976).

III.1.2.2. Les champignons filamenteux à haute température:

Parmi les microorganismes eucaryotes, seulement quelques espèces de champignons filamenteux peuvent se développer à des températures situées entre 45°C et 55°C (Cooney et Emerson, 1964). En effet, les champignons filamenteux thermophiles ont une température de croissance minimale inférieure à 20°C et maximale supérieure à 50°C (Brock, 1995 ; Blochl et al., 1997 ; Maheshwari et al., 2000). Par ailleurs, Tansey et Brock (1978) ont répertorié 30 espèces fongiques croît à des températures élevées modérément (60°C à 62°C) (Tensey et Brock, 1978 ; Mouchacca, 1997).

La majorité de champignons filamenteux thermophiles appartiennent aux *Zygomycètes* (*Rhizomucor miehi*, *R. pussillus*), *Ascomycètes* (*Chaetomium thermophile*, *Thermoascus aurantiacus*, *Dactylomyces thermophilus* , *Melanocarpus albomyces*, *Talaromyces thermophilus*, *T. emersonii*, *Thielavia terresteris*), *Basidiomycètes* (*Phanerochaet chrysosporium*) et *Hyphomycètes* (*Acremonium almbamensis*, *A. thermophilum*, *Myceliophthora thermophila*, *Thermomyces laganosus*, *Seytalidium thermophilum*, *Malbranchea cinnamonea*) (Tensey et Brock, 1997 ; Mouchacca, 1997).

Trois des espèces étaient des levures; le reste était dans les genres *Aspergillus*, *Chrysosporium*, *Eremascus*, *Paecilomyces*, *Penicilium*, *Walemia* et *Xeromyces*. Les espèces de *Penicilium* tendent à être plus communes dans les environnements tempérés (Mouchacca 1995 ; Sangalang et al., 1995).

III.1.3. Les champignons filamenteux isolés aux milieux à activités de l'eau (aw):

Les Champignons filamenteux xérophiles sont indiqués en tant que tels pour que leurs capacités se développent sur les substrats dans lesquels le bas potentiel de matrice, plutôt que l'effort osmotique des sucres et des sels, explique la basse activité de l'eau de substrat. Un champignon filamenteux xérophile en tant que se développerait à une valeur d'activité de l'eau en-dessous de 0.85 plus au moins un ensemble de conditions environnementales. La plupart des champignons filamenteux capables de tolérer des activités de l'eau en-dessous de 0.90 aw sont des ascomycètes ou leurs anamorphs. Des champignons

filamenteux dans ce groupe écologique plus souvent sont isolés dans des écosystèmes arides et semi-arides et le plus souvent sont associés aux grains de céréale stockés et les nourritures sèches (Magan et dentelle, 1984). Des espèces d'*Aspergillus* sont considérées les taxa xerotolérants, bien que quelques espèces de *Penicillium* soient des espèces xerotolérants importantes (Pitt et Hocking, 1997).

III.1.4. Les champignons filamenteux isolés aux milieux à haute pression:

Les sources hydrothermales océaniques profondes constituent également un habitat idéal pour les champignons filamenteux piézophiles. Situées sur les dorsales océaniques, leur profondeur varie de 800 à 4000 mètres et la gamme de température s'étend de 2°C à 350°C (avec la pression hydrostatique) sur quelques centimètres. On peut donc y retrouver des thermopiézophiles. Certaines de ces microorganismes sont apparues piézosensibles, d'autres piézotolérantes, d'autres enfin piézophiles. Ce n'est que récemment qu'une archée hyperthermophile et piézophile a été décrite (Zeng et al., 2009).

III.1.5. Les champignons filamenteux isolés aux milieux acides:

Les champignons filamenteux les plus acidophiliques rapportés jusqu'ici sont *Acontium velutium* et les espèces de *Cephalosporium* qui ont été isolées dans des médias de laboratoire contenant (Starkey et Waksman, 1943). Beaucoup d'autres mycètes filamenteux se sont avérés capables de se développer aux valeurs de pH très faible : les genres *Aspergillus*, *Eurotium*, *Fusarium* et *Penicillium* peuvent se développer aux bas valeurs du pH de 2.0 mais également avoir des optimums de pH de jusqu'à 10. *Acontium pullulans* a été isolé à pH 2.5 des jets de rebut et acides de charbon (Belly et Brock, 1974).

Les études récentes ont démontré que les espèces des champignons filamenteux telles que *Dothideomycetes* et *Eurotiomycetes* et un certain nombre d'autres mycètes d'ascomycète sont présents dans le drainage de mine acide souvent sont caractérisés par des concentrations élevées des sulfates et de fer dissous aussi bien que des ions d'hydrogène (Baker et al., 2004).

III.1.6. Les champignons filamenteux isolés aux milieux alcalins:

Des microorganismes alcalotolérant ont été définies car ceux qui se développent de façon optimale approximativement à pH 7 mais peuvent pour se développer activement aux valeurs du pH jusqu'à de 9-9.5. D'autres microorganismes alcalophiles sont définies comme ceux aux lesquels ne se développer pas à pH < 8.5 ou avoir la croissance optima à deux unités de pH au-dessus de neutralité (Kroll, 1990).

Beaucoup des champignons filamenteux peuvent se développer sur des valeurs très éventail du pH, et souvent entre pH 2 et 11. Cependant, plusieurs de ces champignons filamenteux, des genres différents comprenant des espèces de *Botrytis*, *Colonne*, *Copain*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Penicillium* et *Letotri*, *Paecillomyces*, sont le plus probablement alcalotolerant. Par exemple *Paecillomyces lilacimusa* été décrit en tant que pouvant alcalophile et se développer très bien entre pH 7.5 et 9.0. De véritables espèces alcaliphiles de *Chrysosporium* ont été isolées et décrites des nids d'oiseau, ayant un maximum de pH pour la croissance de pH 11 (Kroll, 1990).

III.1.7. Les champignons filamenteux isolés sur les roches:

Divers champignons filamenteux ont été isolés dans de diverses surfaces de roche et dans des crevasses en surfaces de roche et monuments en pierre (Urzi et *al.*, 1995 ; Sterflinger et Krumbein 1997 ; Sterflinger et *al.*, 1999).

III.2. Les mécanismes de résistances aux milieux extrêmes:

Les spores permettent aux champignons filamenteux de résister à des conditions extrêmes comme le gel, le processus de digestion et les grandes sécheresses (Tableau 1). Cette résistance aux conditions environnementales peut varier considérablement d'une espèce à l'autre, mais on retrouve des espèces adaptées presque à tous les climats et les conditions extrêmes (Halwyn et *al.*, 2001).

Tableau 01: Aperçus de degré de résistance des spores fongiques (Regnault, 1990 ; Block, 1991 ; Kendrick, 1997 ; Carlile et al., 2001).

Conditions environnementales	Seuil de résistance	Durée de la viabilité	Exemples d'espèces concernées
Chaleurs très élevées	90°C (feux de forêts)	Quelques mois	Ascospores de <i>Byssochlamyces</i>
Froid intense	Congélation	Un hiver	Plusieurs d'espèces du Nord
Sécheresse de l'air ambiant	±0% d'humidité relative	Semaine à année	La majorité des genres de l'environnement intérieur : <i>Eurotium</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Penicillium</i>
Présence de l'humidité dans le milieu sur lequel se déposent les spores	De 0 à 50% de l'humidité +de 50% d'humidité	Jusqu'à des années À ces taux, les spores devraient germer dans le cas contraire pourrissent	<i>Eurotium sp</i> Toutes les espèces

III.2.1. Salinité:

L'osmose élevée (hypersalinité) peut être nocive à la cellule fongique car, l'eau perdue dans le milieu environnemental peut empêcher la perte de l'eau cellulaire (Galinski, 1993).

Dans les milieux à forte salinité et à faible activité en l'eau, les espèces fongiques développent des mécanismes d'adaptation nécessaires pour la survie dans ces conditions difficiles (Stivaletta et al., 2009).

III.2.1.1. Équilibre ionique:

Les cellules qui vivent dans les environnements hypersalins maintiennent un faible potentiel hydrique par rapport à leur entourage pour pouvoir survivre. L'état d'équilibre est atteint par l'accumulation dans le milieu intracellulaire des ions K^+ à l'aide de la pompe Na^+ / K^+ (Gunde-Cimerman et al., 2009).

III.2.1.2. Accumulation des solutés compatibles:

Dans un environnement à une concentration de NaCl élevée (hypersalinité), les champignons filamenteux halophiles accumulent généralement des concentrations élevées des corps dissous dans le cytoplasme. Pour maintenir la concentration intracellulaire du Na⁺ au dessous du niveau toxique des cellules (Galinski, 1993 ; Hohman, 2002). Ces corps dissous (osmolytes) qui s'accumulent dans la cellule des halophiles sont habituellement, des acides aminés et des polyols comme, Betaïne de glycine, acetoïne, tréhalose et glycérol qui ne perturbent pas les processus métaboliques. Les osmolytes peuvent se produire par la biosynthèse du matériel de stockage ou par de nouveaux matériel se trouvant dans le milieu (DasSarma et Arora, 2001).

III.2.1.3. Fluidité de la membrane cytoplasmique:

Le changement des propriétés de la membrane plasmique a un rôle important dans l'adaptation des champignons filamenteux au stress. La diminution du rapport stérol/phospholipides de membrane plus fluide, donc plus résistante à la pression osmotique. D'autre part, en accumulant les acides gras insaturés, la membrane subit changement de la composition lipidique et permet donc la rétention des solutés compatibles dans le milieu intracellulaire (Turk et *al.*, 2007).

III.2.2. Température:

III.2.2.1. Basse température:

Un grand nombre de champignons filamenteux de sphère, endophytique et de sol peuvent survivre aux températures très graves d'hiver de T < -50°C. Ils restent viables par la survie en tant que structures de repos, les chlamydospores et les sclérotés souvent à paroi épaisses, ou les conidies à paroi minces. Même les conidies asexuelles produites à paroi minces sont résistants aux températures de congélation. Par exemple, des conidies d'*Aspergillus flavus* sont avérés résistants à la congélation dans l'eau à -73°C. Cette survie peut partiellement être due à une teneur en eau très basse, de sorte que peu ou pas de givrage se produise qui pourrait affecter l'intégrité de la spore (Mazur, 1966).

III.2.2.2. haute température:

Il y a un certain nombre d'hypothèse proposée pour expliquer la base de thermophile. Crisan, (1973) a proposé quatre possibilités principales : (1) solubilisation de lipide ; (2) résynthèses rapide des métabolites essentiels ; (3) thermostabilité moléculaire et (4) thermostabilité d'ultrastructure. Cette dernière peut être importante parce qu'il y a la possibilité que la solubilisation des lipides cellulaires peut se produire à température élevée dans la mesure où les cellules perdent leur intégrité. Une augmentation de la température peut avoir des lipides cellulaires contenant des acides gras plus saturés qui ont un point de fusion plus élevé que des participants dans les mésophiles. Ils pourraient ainsi maintenir l'intégrité cellulaire à températures élevées qu'est la caisse pour les mésophiles, qui contiennent nettement moins de lipides saturés.

Sinensky (1974) et Jaenicke (1996) ont également suggéré que la plus grande fluidité des lipides saturés (la fluidité de la membrane) à températures élevées puisse permettre l'activité métabolique et la cellule fonctionnant pour permettre la croissance active à $> 40^{\circ}\text{C}$. Par contre, dans des basses températures, la membrane cellulaire contient une proportion plus élevée d'acides gras insaturés. En effet, il a été trouvé que, le degré de non saturation des acides gras de la couche phospholipidique de la membrane est de 0.88 chez les mycètes développés à 50°C , et de 1.06 chez les mêmes mycètes développés à 30°C (Rajasekaram et Maheshwari, 1990). Par ailleurs, il a été démontré que chez les mycètes thermophiles, l'ADN contient plus de liaisons G-C que de liaisons A-T (Galtier et *al.*, 1999).

Récemment, l'attention a été concentrée sur la capacité des organisations généralement de produire une gamme spécifique des protéines, soi-disant protéines de choc de la chaleur, une fois exposée aux extrémités des facteurs environnementaux, en particulier la température (Higgins et Lilly, 1993).

En cinq dernières années, les recherches intensives sur les activités des protéines de choc de la chaleur ont produit des avancées significatives en comprenant leur rôle cellulaire. On l'a découvert que plusieurs de ces protéines (de choc de la chaleur) sont en fait des protéines essentielles qui sont synthétisées normalement par des cellules aux températures optimales pour la croissance. La physiologie et la sécrétion des enzymes thermophiles par différents mycètes thermophiles ont été passées en revue plus récemment (Maheshwari et *al.*, 2000). Les voies physiologiques impliquées chez *Aspergillus fumigatus* sont examinées en employant des microarrays. il est possible d'examiner et également le nombre de gènes pendant la production de protéine de choc de la chaleur (Maheshwari et *al.*, 2000).

III.2.3. pH:

Le pH de vie non conventionnelle nous laisse penser que ces microbes de l'extrême ont mis en place des stratégies originales (enzymes spécifiques) pour s'adapter aux stress physico-chimiques auxquels ils sont confrontés dans les sources ou lacs acides ou basiques (Kroll, 1990).

L'ion d'hydrogène (H^+) est un cation très spécial parce que c'est un proton sans des électrons. En solution, il devient hydraté de former l'ion de hydronium (H_3O^+). Au pH acide, ceci prédomine tandis que, à pH alcalin, l'ion d'hydroxyle (OH^-) est dominant. Les protons et les procédés de transport de membrane et bioénergétiques sont critiques à la capacité des acidophiles et des alcalophiles de coloniser de tels environnements spécialisés. La capacité d'occuper ces places est déterminée en grande partie par la capacité des micro-organismes, y compris des mycètes, d'avoir des systèmes de commande de pH. Ceci implique les systèmes de transport efficaces de transmembrane, de sorte que des corps dissous requis pour réaliser des modifications intracellulaires puissent être effectivement utilisés pour maintenir le potentiel de membrane en ce qui concerne l'environnement extérieur (Kroll, 1990).

Des mécanismes de la commande interne de pH ont été rapportés pour des bactéries telles que *Streptococcus faecalis* où la commande s'est avérée complètement due à l'action de l'ATPase dans l'efficacité croissante de pompe de proton. Par exemple, en conditions acides extrêmes, le pH interne tombe rapidement, et le triphosphate d'adénosine est utilisé pour pomper rapidement des protons hors des cellules bactériennes par l'intermédiaire de l'ATPase pour augmenter le pH interne de la cellule. Dans les bactéries alcalophiles telles que le *bacille alcalophilus*, le sodium (Na^+) est utilisé pour renverser le gradient de pH dans des conditions alcalines extrêmes.

Les adaptations des bactéries pour permettre la croissance de ces environnements incluent la possession des flagelles, modifications des parois et membranes cellulaires, et dans l'activité biochimique comprenant la respiration et la phosphorylation oxydante. Les études étendues sur des bactéries doivent être prolongées aux levures et aux mycètes filamenteux pour permettre un arrangement plus clair de leur métier de telles places écologiques. Cependant, l'impact possible du pH ne doit pas être vu en isolement - l'activité d'organisation sera également influencée par des interactions entre le pH, la disponibilité de l'eau et le potentiel osmotique, et la température.

III.2.4. Aw:

Dans un examen étendu des mycètes xérophiles, Pitt (1975) a rapporté 44 espèces qui abiment des produits alimentaires comme appartenant à ce groupe écologique. Le reste était dans les genres *Aspergillus*, *Chrysosporium*, *Eremascus*, *Paecilomyces*, *Penicillium*,

Walemia, et *Xeromyces*. Les espèces de *Penicillium* tendent à être plus communes dans les environnements tempérés, tandis que les espèces d'*Aspergillus* prédominent dans des climats plus chauds. Magan et de dentelle (1984b) rapportés que les espèces d'*Aspergillus* sont de meilleurs concurrents que des espèces de *Penicillium* aux températures et aux des activités bas de l'eau.

III.2.5. Roches:

Les mycètes qui se développent dans des vernis de désert sont capables d'enrichir les substrats avec du fer et le manganèse, ayant pour résultat la précipitation et l'accumulation des couches noires denses sur les surfaces de roche. Pour les mycètes micro coloniaux et de roche de vernis, la production d'un colorant foncé ou une couche foncée sur des surfaces de roche semble être une adaptation pour réduire l'exposition aux périodes prolongées de l'irradiation UV élevée (Urzi et al., 1995).

III.3. Intérêt industriel des champignons filamenteux extrémophiles:

Actuellement, les champignons filamenteux extrémophiles jouent un rôle primordial dans divers domaines d'applications ; elles sont utilisées dans les industrie alimentaires, chimiques, la biolixiviation et la biotransformation...etc. Cependant l'industrie n'exploite commercialement qu'un petit nombre de métabolites de quelques espèces seulement (Boiron, 1996). Leur intérêt économique repose sur leur activité biologique dans la production d'une grande diversité de molécules produites au cours des métabolismes primaires et secondaires, exploitées en particulier par l'industrie pharmaceutique et en médecine (Larpend-Gourgaud et Sanglier, 1992).

III.3.1. Intérêt alimentaire:

Les champignons filamenteux extrémophiles sont des producteurs importants d'acides organiques tels que l'acide gluconique, l'acide malique, l'acide acétique et l'acide citrique (Leveau et Bouix, 1993 ; Boiron, 1996). Ce dernier est notamment produit par *Aspergillus niger*, où 60% de sa production est destinée au secteur alimentaire (Botton et al., 1999).

Les enzymes fongiques extrémophiles et surtout thermorésistantes restent toujours les outils clés de la biotechnologie et reflètent de plus en plus l'importance et le rôle infini des moisissures extrémophiles dans les différentes applications alimentaires. *Aspergillus niger* est un bon exemple, il produit la cellulase, l'amylase, l'invertase et la pectinase, employées principalement comme des catalyseurs biologiques en glucoserie, brasserie et pour la

fabrication des boissons. Cette moisissure secrète aussi des protéases, des lipases et des estérases utilisées dans différentes applications alimentaires (Kosikowski, 1988 ; Scriban, 1999).

III.3.2. Intérêt chimique:

Il s'agit essentiellement de l'utilisation des protéases alcalines d'*Aspergillus oryzae* et de *Stachybotrys chartarum* dans les détergents (Miller, 2002).

La production de cellulase thermorésistante par *Aspergillus niger* et *Trichoderma harzianum* présente une diversité d'applications industrielles, où 48% de sa production par ces deux espèces fongiques et le genre *Penicillium* est utilisée pour l'industrialisation des papiers et les textiles (Delgado-Jarana et al., 2002). Certains genres fongiques extrêmophiles tels que *Aspergillus*, *Mucor* et *Penicillium* sont capables de produire des lipides en quantités importantes et constituent une source potentielle d'utilisation chimique (Botton et al., 1999).

En biolixiviation seules les bactéries présentent un intérêt industriel. Cependant, certaines champignons filamenteux possèdent d'intéressantes propriétés ; *Aspergillus ochraceus*, *Penicillium funiculosum* et *Rhizopus arrhizus* sont capables d'absorber de l'uranium du minerai. Les milieux de culture carencés en facteurs de croissance et en sels minéraux, diminuent le taux de croissance, mais stimulent ce phénomène (Boiron, 1996 ; Larpent- Gourgand et Sanglier, 1992 ; Botton et al., 1999).

En biotransformation les champignons filamenteux extrêmophiles ont une zone étroite d'application. Un exemple remarquable est l'hydrolyse enzymatique de la pénicilline V par *Penicillium chrysogenum* et *Fusarium* entraînant la formation d'acide amino-6-pénicillanique qui est un intermédiaire important de la production de pénicillines semi synthétiques telles que l'ampicilline et l'amoxicilline (Durand et Monson, 1988).

III.3.3. Intérêt pharmaceutique:

La production industrielle en vitamines se limite à une partie de la synthèse de la riboflavine produite spécialement par *Eemothecium ashbyii* cultivé en milieu agité et supplémenté en lipides. La vitamine A pourrait faire l'objet d'une production microbiologique par les champignons notamment les espèces de l'ordre des mucorales (Botton et al., 1999).

Les champignons filamenteux extrêmophiles surtout les thermorésistants sont des grands producteurs d'antibiotiques tel que la pénicilline produite par le genre *Penicillium* et la

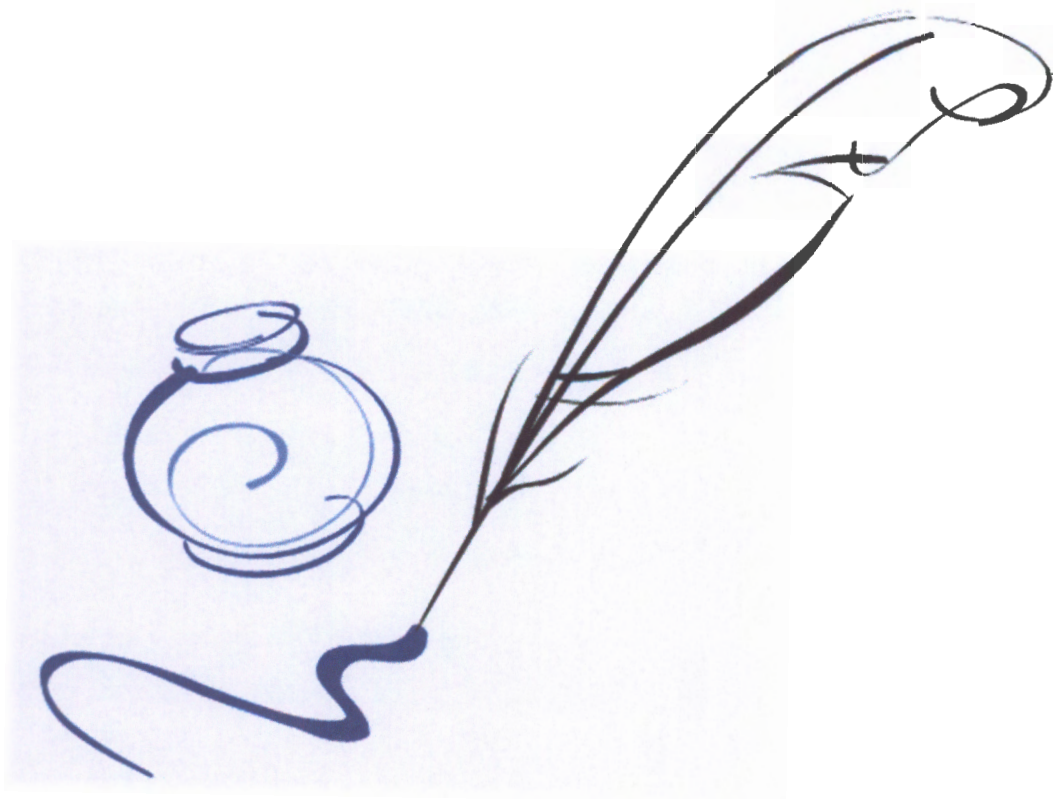
céphalosporine produite par *Cephalosporium* (Larpend- Gourgaud et Sanglier, 1992 ; Botton et *al.*, 1999). Cependant les acides organiques d'origine fongique n'ont pas une application pharmaceutique importante (Divies, 1984).

III.3.4. Intérêt médical:

Les premiers produits d'origine champignons filamenteux extrémophiles en médecine sont les alcaloïdes de l'ergot de seigle (ergotamine), utilisés en gynécologie et pour diverses autres indications (Boiron, 1996 ; Botton et *al.*, 1999).

La découverte de la cyclosporine, puissant agent immunodépresseur, puis la mise en évidence de corrélation entre l'activité de certaines enzymes et diverses pathologies ont permis de donner un grand essor aux sciences médicales et pharmaceutiques (Botton et *al.*, 1999 ; Richard, 2005).

Conclusion et perspectives



Les champignons filamenteux montrent une extraordinaire capacité d'adaptation aux conditions physico-chimiques drastiques régnant dans certains environnements ou milieux dits "extrêmes" tant en termes de température, de salinité, de pH que de pression hydrostatique. Dans de tels écosystèmes.

Cette résistance aux conditions environnementales peut varier considérablement d'une espèce à l'autre, mais on retrouve des espèces adaptées presque à tous les climats et les conditions extrêmes. Les champignons filamenteux les plus importants isolés dans certains milieux extrêmes: Salés, *Aspergillus halophilicus*, *halophilica*. Froids: *Mucor*, *Rhizopus*. Chauds: *Chaetomium thermophil*. Alcalins: *Cladosporium*, *Fusarium*. Les roches: *Coprinus plicatilis*, *Schizophyllum*. et dans les milieux acides *Fusarium culmorum*, et *Aspergillus oryza*.

Parmi les mécanismes les plus utilisés par les champignons filamenteux pour s'adapter aux différents milieux extrêmes est la sporulation qui permet de résister à des conditions extrêmes, la paroi épaisse des conidies d'*Aspergillus flavus* dans les milieux froids, la thermostabilité d'ultrastructure (protéines de choc de la chaleur) chez *Aspergillus fumigatus* dans les milieux chauds, la production d'un colorant foncé ou une couche foncée sur des surfaces de roche semble être une adaptation pour réduire l'exposition aux périodes prolongées de l'irradiation UV élevée.

Actuellement, Les champignons filamenteux extrémophiles jouent un rôle primordial dans divers domaines d'applications ; elles sont utilisées dans les industries alimentaires, chimiques, la biorestauration et la biotransformation. Les premiers produits d'origine fongique en médecine sont les alcaloïdes de l'ergot de seigle (ergotamine), utilisés en gynécologie. Les enzymes thermorésistantes et alcalines.

Liste des References

- Abdel-Hafez, S.I.I. Zidan, M.A. Bagy, M.M.K. et Abdel-Sater, M.A.1989. Distribution of two halophilic fungi in the Egyptian soils and glycerol accumulation. *Cryptogamie, Mycologie.vol 10*, Elsevier, Paris, France, pp 125-133.
- Amico, S. Collins, T, Marx, JC, Feller, G, Gerday, C. 2006. Psychrophilic microorganisms : challenges for life [en ligne], University of Liege, Belgium, 4 pages, disponible sur :< <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16585939> >, Consulter le 22/05/2013.
- Anonyme, A. 2004. Clearing the air: Asthma and indoor air exposure. Comite on the assessment of Asthma and indoor air. Institute of Medecine (IOM), National Academy Press, USA, pp 300-308.
- Anonyme, B. 2000. Lignes directrices applicables à l'évaluation et l'élimination de la contamination fongiques en milieu intérieur. NewYork City Departement of Health (NYC), USA, pp 25-40.
- Baker, S. Driver, J. et McCallum, D. 2001. Residential exposure assessment.. Kluwer Academic/Plenum Publishers. New York ; London. pp 28-38.
- Benlloch, S. Acinas, C. G. Anton, J. Lopez- Lopez, A. Luz, S.P. et Rodriguez Valera, F. 2000. Archaeal Biodiversity in cristallizer ponds from solar saltern culture versus PCR. *Microbiol Ecol.* vol41, USA, pp12-19.
- Blochl, E. Rachel, R. Burgraff, S. Hafend, b J H. W et Stetta, O. 1997. *Pyrolobus fumarii* gen and sp. Nov presents a novel group of and archea. Extending the upper temperature limite for life to 113°C, *Extremophiles*, Elsevier, Volume 154, 3, pp 14-22.
- Block, S. S. 1991. Sterilization and preservation [en ligne], 4edition, Lea & Febiger, 8 pages, disponible sur :< [chemphys.u-strasbg.fr/mpb /teach/Vie.../ DFuger-DLefevre-MPBassez.pdf](http://chemphys.u-strasbg.fr/mpb/teach/Vie.../DFuger-DLefevre-MPBassez.pdf)>, consulter le 22/05/2013.
- Boiron, P. 1996. Organisation et biologie des champignons. Nathan, France, pp 19- 29- 36-79- 80.
- Botton, B. Breton, A. Fevre, M. Gauthier, S. Guy, PH. Larpent, J. Reymond, P. Sanglier, J. J. Vayssier, Y. et Veau, P. 1990. Moisissures utiles et nuisibles. Importance industrielle. Masson, France, pp 12-426.

- Botton, B. Breton, A. Fevre, M. Gauthier, S. Guy, P. Larpent, J.P. Reymond, P. Sanglier, J. J. Vayssier, Y. et Veau, P. 1999. Moisissures utiles et nuisibles. Importance industrielle. Masson, France, p 34-428.
- Bourgeois, C. M. Mescle, J. F. et Zucca, J. 1989. Microbiologie alimentaire. Aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité des aliments. Lavoisier, France, pp 216-244.
- Bourgeois, C. M. Mescle, J. F. et Zucca, J. 1996. Microbiologie alimentaire. Aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité des aliments. Tome 1. Lavoisier. France, 236-246.
- Brett, L. 2001. Microbial life in alkaline environments [en ligne]. 25 pages, disponible sur : < chemphys.u-strasbg.fr >, consulter le 22/05/2013.
- Brock, T. D. 1995. The road to yellow stone and beyond. Annu Revue Microbiol, vol49, pp 1-28.
- Burg, B. 2003. Extremophiles as a source for novel enzymes. Revue Microbiol, vol 6, pp 213-218.
- Carlile, M. J. Watkinson, S.C. et Gooday, G. W. 2001. The fungi, 2 editions, Academic Press, London, pp 250-226.
- Casselton, L. et Zolan, M. 2002. The art and design of genetic screens: filamentous fungi [en ligne], 80pages, disponible sur : < www.rz.uni-karlsruhe.de/.../Casselton_Zolan_2002.pdf >, consulter le 19/05/2013.
- Chabasse, D. Guiguen, C. I. Contet Audonneau N. 1999. mycoses d'importation, Elsevier, France, 111 pages.
- Chabasse, D. Bouchara, J. P. De gentile L. Brun S. Cimmon B. et Penn P. 2002. Cahier de formation les moisissures d'intérêt médicale [en ligne], N° 25 ,625 pages disponible sur : http://www.techmicrobio.eu/ftp/diaporamas/cahiers_Bioformation/cahier25Moisissures%20interet%20m%C3%A9dical%20.pdf, consulter le 20/05/2013.
- Cooney, D.G. et Emerson, R. 1964. Thermophilic fungi. An account of their biology activities and classification, W H Freeman, USA, 188 pages.
- Das-Sarma, S et Arora, P. 2001. Halophyles. Encyclopedia of life native. Publishing Groupe, vol8, pp 458-466.
- Davet, P. 1996. Vie microbienne du sol et production végétale. INRA, France, pp 52-57.

- David, J. P. 2001. Des microbes du lac Mono, université de Californie, Californie, pp 41 :115-122.
- Delgado-Jarana, J. Rincon, A. M. et Benitez, T. 2002. Aspartyl protease from *Trichoderma harzianum* CECT 2413: cloning and characterization. *Microbiology*, vol 148, pp1305-1315.
- Divies, K. Jost, R. Mahadevan, J. et Monti, J. C. 1984. Utilisation de la méthodologie expérimentale pour la production des acides organiques par les bactéries acétiques *Revue internationale des industries agricoles: bulletin analytique*, Vol 35, pp 292-297.
- Durand, G. Monson, P. 1982. Les enzymes: production et utilisations industrielles. Bordas. France, pp 36-153.
- Fardeau, ML, Gounant, C, Dorléac, N, Cayol, J.L. et Ollivier, B. 2005. Isolation and phylogenetical characterization of anaerobic thermopiles originating from thermal springs in France. *In Thermophiles 05; From evolution to revolution. International Conference, Griffith University, Australia* .pp 756.
- Galinski, E. A. 1993. Compatible solutes of halophilic eubacteria: molecular principales, water-solute interactions, stress protection. *Experientia*, vol49, pp 487-496.
- Gounot, A. M. 1986. Psychrophilic and psychrotrophic microorganisms. *Experientia* 42:1192-1197.
- Guiguen, C. I. Contet Audonneau, N. 1999. *Mycologie Médicale*, Masson, France, pp 20-23.
- Gunde-Cimeraman N. Ramos J. Plemenitas A. 2009. Halotolerant and halophilic fungi. *Stud Mycol*. Vol113, pp1231-1241.
- Halwyn, M.A. Lercterc, J.M. King, N. Belonger, M. Legris, M. et Frenett, Y. 2001. Les risques à la santé associés à la présence de moisissure en milieu interieur [en ligne], Canada, 17 pages, disponible sur : <<http://www.dsest.umontreal.ca/documents/18Chap12.pdf>>, consulter le 21/05/2013.
- Hawksworth, D.L. Kirk, P.M. Sutton, B.C. et Pegler, D.N. 1994. *Ainsworth and Bysby's dictionary of the fungi*. 8 editions, International Mycological Institute, United Kingdom, pp641-655.
- Higgins, S. M. Lilly, W.W. 1993. Multiple responses to heat stress by the basidiomycete *Schizophyllum commune*. *Curr Microbiol*, vol 26, pp123-127.

- Hohmann, S. 2002. Osmotic stress signaling and osmoadaptation in yeasts. *MicrobiolMolBiol Revue*, vol 66, pp 300–372.
- Julien, R. 2002. Les moisissures parlons-en. Objectif prevention [En ligne], ASSTSAS, vol 25, 02, 06 pages, disponible sur :<<http://www.asstsas.qc.ca/publications/revues-et-infolettre/objectif-prevention/objectif-prev-ention-vol-25-no-4-septembre-2002/infections/les-moisissures-parlons-en.html>>, consulter le 20/05/2013.
- Kamekura, M. 1998. Halophilic adaptation of enzymes Extremophiles, *Science*, vol 4, pp 91-98.
- Kathy, S. David, P. et al. 2001). L'algue rouge cyanidium, Nymph Creek, Parc Lemonade du Yellowstone National Park, Montana State Univ, USA, pp-12-15.
- Kendrick, B. 1997. Mold here isolation, cultivation and identification [en ligne],University of Toronto, 3 pages, disponible sur :<<http://210.36.18.48/gxu.jingpin/mcx/mckxzyk/xxck-yw-sw/a05.pdf>>, consulter le 21/05/2013.
- Kirk, P. M. Cannon, P. F. David, J.C.Egham, U. K. et Stophes, J. A. 2001. Ainsworth and Bysby's Dictionary of fungi, 9 editions, CABI Bioscience. London, 540 pages.
- Kroll, RG .1990. Alkalophiles, In Edwards, C. Microbiology of extreme environments. Open University Press, Milton Keynes, pp 55-92.
- Lanier, L. Joly, P. Bondoux, P et Bellemère, A. 1978. Mycologie et pathologie forestière, mycologie forestière. Tome 1, Masson, France, 965 pages.
- Larpent-Gourgaud, M. et Sanglier, J. J. 1992. Biotechnologies ; Principes et méthodes. Doin, France, pp 574-587.
- Leveau, J. Y. et Bouix, M. 1993. Les moisissures. In florent J Microbiologie industrielle. Les microorganismes d'intéret industrielle. (edn) Tec et Doc- Lavoisier, pp 110-163.
- Leveau, J.Y. et Bouix, M. 1993. Les moisissures. In Florent,J. Microbiologie Mycologie Médicale, Masson édition, France, pp 50-80.
- Litchfield, C.D. et Gilevet, P. M. 2002. Microbiol diversity andcomplexity in hypersaline environments: a pariliminary assessment. *Indian Microbiol Biotechnol Journal*, vol 28, 01, pp 48- 55.

- Madigan, M, Martinko, J. B. 2007. Biologie des micro-organismes [en ligne]. Pearson Éducation, France, disponible sur : www.maxicours.com, consulter le 21/05/2013.
- Magan, N, Lacey, J. 1984. Effect of gas composition and water activity on growth of field and storage fungi and their interactions. *Trans Br Mycol Soc*, vol 82, pp305-314.
- Maheshwari, R. Bradwa, J. G and Bhat, M. K. 2000. Thermophilic fungi their physiology and enzymes. *Microbiology and Molecular Biology Revs*, vol64, 3,pp 461- 488.
- Mathiew, R. 1995. Biologie Campbell, De Boeck, Canada, 1190 pages.
- Mazur, P. 1966. Studies of the effects of subzero temperatures on the viability of spores of *Aspergillus flavus*; the effect of rate of warming. *Journal Gen Physiol*, vol 39, pp 869-888.
- Miller, J. D. 2002. Enzyme hydrolysis of protein by various enzyme preparations. *Journal Ferment Technol*, Vol54, pp 872- 884.
- Mouchacca, J. 1997. Thermophilic fungi; Biodiversity and Taxonomic Status. *Cryptogamies. Mycol.* 18: 19-69.
- Mouchacca, J. 1999. Thermophilic fungi: present taxonomic concepts in thermophilic moulds in biotechnology, Johri edition , pp 43-83.
- Nicklin, J. Graeme-Cook, K. Paget, T. et Killington, R. 2000. L'essentiel en microbiologie. Berti, France, pp 210-216.
- Nicklin, J. Greame-Cook, K. Paget, T and Killington, R. 1999. Essentiel en microbiologie, BERTI edition, France, P 210-216.
- Oren, A. 1999. In Enigmatic Microorganisms and Life, in Extreme Environments Seckbach, J. Kluwer Dordrecht, pp339-355.
- Pitt, J. I. Hocking, A. D. 1997. Fungi and food spoilage, 2 editions, Blackie Academic etProfessional, USA, pp 80-98.
- Punt, P. J. Van Biezen, N. Conesa, A. Albers, A. Mangnus, J. et Van den Hondel, C. 2002. Filamentous fungi as cell factories for heterologous protein production. *Trends Biotechnol.* Vol 20, 5, pp 200-206.
- Rajaskaram, A.K. et Maheshwari, R. 1990. Effect of growth temperature on lipids composition of a thermophilic fungus *Thermomyces lanuginosus*. *Indian journal ExpBiol*, vol 28, pp 134-137.
- Regnault, J. P. 1990. Microbiologie générale, Décarie Éditeur, Canada, pp 60-82.

- Richard, K. F. 2005. Génomique fonctionnelle in vivo de l'oxydoréductase PA3498 chez *Pseudomonas aeruginosa*, Mémoire de fin d'étude, Université Laval, Québec, 176 pages.
- Pitt, J. I. 1975. Xerophilic fungi and the spoilage of food of plant origin, In Duckworth RB Water relations of food, Academic Press, London, pp 273–307 .
- Robinson, C. H. 2001. Cold adaptation in Arctic and Antarctic fungi. *New Phytol*, vol151, pp 341–353.
- Roquebert, M. F. 2002. Moisissures contaminant les biens culturels, *Elsevier*, 2002, p. 147-160
- Roquebert, M. F. 1997. Les moisissures, nature biologie et contamination, *Biology and evolution*, vol 4, pp 406–425.
- Ruest K. 2002. Mold growth in houses : the obvious and not so obvious aspects of the problem Reference material. Canada Mortgage and Housing Corporation, Canada, pp 60-80.
- Saleh, YG, Mayo, MS, Ahearn, DG. 1988. Resistance of some common fungi to gamma irradiation. *Appl Environ Microbiol*, vol 54, 8, pp2134-2135.
- Sangalang, A. E. Burgess, L.W. Backhouse D, Duff, Wurst. 1995. Mycogeography of *Fusarium* species in soils from tropical, arid and mediterranean regions of Australia. *Mycological Research* 99:523–528.
- Satyanarayana, T. Raghukumar, Ch. Roswall, T et Shivaji, S. 2005. Extremophilic microbes: Diversity and perspectives current, *Current Science*, vol.89, 1, pp 78-90.
- Senal, J. Fraselle, J. Impens, R. Kummert, J. Lepoivre, Ph. Meulmans, M. Seilleur, P.Vandevcken, J. et Viseur, J. 1993. Traité de pathologie végétale, *Lavoisier*, Belgique. pp 543 - 592.
- Smith, D. 1993. Tolerance to freezing and thawing, In Jennings DH Stress tolerance of fungi. Marcel Dekker, New York, USA, pp 145–172.
- Sterflinger, K. Krumbein N. 1997. Dematiaceous fungi as a major agent for biopitting on Mediterranean marbles and limestone. *Geomicrobiology Journal* 14:219–230.
- Sterflinger, K. Hoog, H. Haase, M. 1999. Phylogeny and ecology of meristematicascomycetes. *Studies in Mycology* 43:5–22.

- Stivaletta, N. Barbieri, R. Picard, C et Bosco, M. 2009. Astrobiological significance of the sabkha life and environments of southern Tunisia. *Planetary space sci.* vol57, pp 597- 605.
- Sumner, M. E. Naidu R. 1998. Sodicsoils: Distribution, properties, management, and environmental consequences. Oxford Univ Press, New York.USA, pp 3-17
- Sumner, M. E. 2000. Handbook of soil science. CRC Press. Boca Raton. FL.pp 200-300.
- Tanji, K.K. 1990. The nature and extent of agricultural salinity problems, In ASCE manuals and reports on engineering practice. Vol 71, AmSocCivilEng, New York, pp 212-223.
- Tansey, M. Brock, L. 1973. Dactylaria gallopava, a cause of avian encephalitis, in hot spring effluents, thermal soils and selfheated coal waste piles. *Nature* 242:202–203.
- Tensey, M.R. et Brock, T.D. 1978. Microbial life at high temperature, aerological aspect, Kushner edition, Life in extreme environments. *Academic press, London*, vol 298, pp159-216.
- Thomas, B.1969. *Thermus aquaticus*, Bactérie thermophile grossie au microscope électronique, *J Bacteriol*, vol101, 2, pp 541–550.
- Tortora, J. Funk, B. F. et Case, Chl. 2003. Introduction à la microbiologie, Canada, 810 pages.
- Trüper, H. G. Galinski, E. A. 1986. Concentrated brines as habitats for microorganisms. *Experienta* 42:1182–1187.
- Turk, M.Montiel, V.Zigon, D. Plemenitas, A.Ramos, J. 2007. Plasma membrane composition of *Debaryomyces hansenii* adapt to changes in pH and external salinity. *Microbiology (Reading, England) MEDLINE*, vol153, pp 3586-3592.
- Uchikoba, T. Mase, T. Arima, K. Yonezawa, H. et Kaneda, M. 2001. Isolation and characterization of a trypsin-like protease from *Trichoderma viride*. *Biol Chem.* Vol 382, 10, pp 1509-1513.
- Urbanek, H. et Yirdaw, G. 1984. Hydrolytic ability of acid protease of *Fusariumculmorum* and its possible role in phytopathogenesis. *Acta Microbiol. Pol.* Vol 33, 2, pp2-136.
- Urzi, C. Wollenzien, U. Criseo, G. Krumbein, W.E.1995. Biodiversity of the rock inhabiting microbiota with special reference to black fungi and black yeasts. pp 289–302.

- Yayanos, A. 1995. Microbiology to 10,500 meters in the deep sea. *Annu Revu Microbiol, USA*, vol 49, pp777-805.
- Zeng, X. Birrien, JL. Fouquet, Y. Cherkashov, G. Jebbar, M. et Querellou, J. 2009. *Pyrococcus* CH1, an obligate piezophilic hyperthermophile : extending the upper pressure-temperature limits for life. *The ISME Journal*, Vol 3, 7, pp 873-876.

Site web:

- <http://serc.carleton.edu/microbelife/extreme/alkaline/index.html>.

Présenté par : Bouderaoune Samir

Encadreur : M^m. Bourzama Ghania

Date de soutenance : 17/06/2013

Thème :

La croissance des champignons filamenteux dans les milieux extrêmes

Résumé :

Un milieu naturel est qualifié d'extrême lorsque les paramètres physico-chimiques qu'il renferme sont le plus souvent hostiles à la vie conduisant en une spécialisation et/ou une diminution de la biodiversité existante. Les milieux extrêmes sont : chauds, froids, salés, à haute pression, acides, alcalines et rocheux. Les champignons filamenteux montrent une capacité d'adaptation aux conditions physico-chimiques drastiques régnant dans les milieux extrêmes, dits "extrémophiles". Plusieurs genres fongiques extrémophiles ont été isolés (*Aspergillus*, *Mucor*, *Penicillium*, *Rhizopus*...ect). Ces genres ont des mécanismes d'adaptation aux différents milieux extrêmes, ex : la sporulation, la thermostabilité d'ultrastructure. Les champignons filamenteux extrémophiles jouent un rôle primordial dans divers domaines d'applications industrielles (surtout la production des enzymes thermorésistantes).

Les mots clés: les champignons filamenteux, milieux extrêmes, les mécanismes d'adaptation, biotechnologie

ملخص:

يعتبر الوسط الطبيعي قاسي إذا كانت عوامله الفيزيوكيميائية مناقضة لشروط الحياة والتي تقود إلى تخصص أو تناقص في التنوع الحيوي المتواجد. الأوساط القاسية هي: الحارة، الباردة، المالحة، تحت الضغط المرتفع، الحمضية، القاعدية و الصخرية. الفطريات الخيطية التي تبدي قدرة على التكيف مع الشروط الفيزيوكيميائية الصارمة السائدة في الأوساط القاسية تسمى محبة للقسوة. تم عزل العديد من الأجناس الفطرية المحبة للقسوة (*Mucor*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus*...). هذه الأجناس لديها آليات التكيف مع عديد الأوساط القاسية منها تشكيل الأبواغ، الاستقرار الحراري للبنية الفوقية. الفطريات الخيطية المحبة للقسوة تلعب دورا رائدا في عديد التطبيقات الصناعية خصوصا في تخليق الإنزيمات المقاومة للحرارة.

الكلمات المفتاحية: الفطريات الخيطية، الأوساط القاسية، آليات التكيف، التكنولوجيا الحيوية.

Abstract

A natural environment is described as extreme when physico-chemical parameters that it contains are often hostile to life, leading to specialization and /or decrease the existing biodiversity. Extreme environments are: hot, cold, salty, high-pressure, acids, alkalis and rocky. Filamentous fungi show an ability to adapt to drastic physico-chemical conditions in extreme environments, called "extremophiles". Several fungal kinds extremophiles have been isolated (*Aspergillus*, *Mucor*, *Penicillium*, *Rhizopus*...ect). These kinds have mechanisms to adapt to different extreme environments, eg: sporulation, the thermostability of ultrastructure. Extremophiles filamentous fungi play an important role in various fields of industrial applications (especially the production of heat-resistant enzymes).

Key words: filamentous fungi, extreme environments, adaptation mechanisms, biotechnology.