Les microbes eucaryotes

Philippe silar: http://gec.sdv.univ-paris-diderot.fr/

Gratuits dans HAL

Microbe: organisme invisible à l'œil nu

Mais: de nombreux organismes apparentés à des microbes, en particulier chez les eucaryotes, sont bien visibles à l'œil nu:

diatomées

sargasses

Ochrophyta

Il vaut mieux parler de « protistes »:

→ dans ce cours, tout ce qui n'est pas un animal ou une plante

L'ancienne terminologie et la classification basée sur la forme

amibes

flagellés

Algues

ciliés

Protozoaires

levures

moisissures

Champignons

Protistes

Les problèmes

Diversité des formes morphologiques pour un même organisme

Cycle de Planoprotostelium aurantium

→ Plasticité développementale et cycles complexes

La classification basée sur la stratégie nutritionnelle

photo-autotrophie

bactéries
plantes, algues

chimio-autotrophie

bactéries

Autotrophie

La classification basée sur la stratégie nutritionnelle

Les problèmes

Euglènes:
Photosynthétiques à la lumière
Osmotrophes au noir

Ochromonas:
Photosynthétiques et phagotrophes

mixotrophie – plasticité des modes nutritionnels

mycélium d'oomycète

mycélium d'eumycètes

À part leur forme liée à une stratégie nutritionnelle de type saprotrophe, ces deux organismes n'ont rien en commun :

parois différentes, cycles sexuels différents, génomes différents, métabolismes différents…

Evolution convergente des stratégies trophiques

Méthodes de la classification moderne

Une combinaison d'études morphologiques (en microscopie optique et électronique), culturales et maintenant essentiellement de comparaison des gènes

La comparaison des gènes

Évolution = mutation + sélection

La "phylogénie moléculaire"

Les gènes utilisés

→ **Chez les bactéries et les archées: ARNr 16S, « core génome »**

→ **Chez les eucaryotes: ARNr 18S, ARNr 28S, tubuline, actine, eEF1A… ou « core génome »**

Les phylogénies moléculaires ne résolvent pas tous les problèmes

Le résultat

Monde eucaryote
Amorphea
Opisthokonta
Holozoa
Metazoa
Choanoflagellata
Holomycota
Eumycota
Rozellida
Nucleariida
Amebozoa
Conosa
Mycetozoa
Variosea
Tubulinea
Lobosa
Discosea
Excavata
Metamonada
Discoba
Diaphoretickes
Achaeplastida
Rhodophyta
Viridiplantae
Glaucophyta
Hacrobia
Haptista
Cryptista
Heterokonta
Pseudomycota
Oomycota
Bygira
Alveolata
Apicomplexa
Dinoflagellata
Ciliophora
« SAR »
Rhizaria
Radiolaria
Foraminifera
Cercozoa
« Bikonta »
« Unikonta »
« Opimoda »
« Diphoda »
Eubacteria
Archaea
Monde procaryote
champignons
algues
protozoaires
parasites

Comment étudier les protistes eucaryotes?

Observations directes *in situ* souvent difficiles…

→ Prélèvements d'échantillons puis:

- Analyse morphologique

- Analyse moléculaire: la métagénomique et « single cell genome analysis »

- Mise en cultures

L’observation morphologique nécessite une grande expertise (diversité et plasticité développementale)

Combien d’espèces de d’algues?

Combien d’espèces de lichens?

Les morpho-species ne recouvrent pas forcément les vraies espèces

PNAS PNAS

CrossMark
click for updates

A single macrolichen constitutes hundreds of unrecognized species

Robert Lücking[a,1], Manuela Dal-Forno[b], Masoumeh Sikaroodi[b], Patrick M. Gillevet[b], Frank Bungartz[c], Bibiana Moncada[d], Alba Yánez-Ayabaca[c], José Luis Chaves[e], Luis Fernando Coca[f], and James D. Lawrey[b]

[a]Science and Education, The Field Museum, Chicago, IL 60605; [b]Department of Environmental
[c]Biodiversity Assessment, Charles Darwin Foundation, Puerto Ayora, Santa Cruz, Galápagos, Ec
José de Caldas, Torre de Laboratorios, Herbario, Bogotá, Colombia; [e]Laboratorio de Hongos, I
Costa Rica; and [f]Herbario Universidad de Caldas, Edificio Bicentenario, Manizales, A.A. 275,

Edited by Peter H. Raven, Missouri Botanical Garden, St. Louis, MO, and approved May 20, 2

The number of Fungi is estimated at between 1.5 and 3 million. Lichenized species are thought to make up a comparatively small portion of this figure, with unrecognized species richness hidden among little-studied, tropical microlichens. Recent findings, however, suggest that some macrolichens contain a large number of unrecognized taxa, increasing known species richness by an order of magnitude or more. Here we report the existence of at least 126 species in what until recently was believed to be a single taxon: the basidiolichen fungus *Dictyonema glabratum*, also known as *Cora pavonia*. Notably, these species are not cryptic but morphologically distinct. A predictive model suggests an even larger number, with more than

Sixteen Sp

The increas
and *Corella*
true specie
data availa
assembled
spacer (ITS
376 sequen
than the m
prising am

Dans ce cas, des différences morphologiques ont été détectées *a posteriori*

La métagénomique

Collecte des échantillons

Surtout sur la taille

Tri éventuel

Extraction d'ADN

Fragmentation (~300 pb) et amplification spécifique éventuelle

Code barre:
Bactéries: 16S
Champignons: ITS
Algues et Protozoaires: ADNr (nucléaires ou mitochondriaux)

Séquence à haut débit

Analyses statistiques

Analyses de fréquences
Reconstitution de génomes

Un résultat typique

Attention, cette méthode compte les individus et pas la biomasse!

Une cellule eucaryote est beaucoup plus grosse qu'une cellule procaryote! Dans beaucoup de biotopes, bien qu'en nombre moindre, les eucaryotes dominent en biomasse!

Métagénomique, technique très puissante mais:

- toujours onéreuse (100 € par échantillon, mais nécessité de réplicas)

- des organismes sont identifiés par leur séquence mais on ne les connais pas!

Analyse du génome d'une seule cellule

Un exemple:

Current Biology
Report

Morphological Identification and Single-Cell Genomics of Marine Diplonemids

Ryan M.R. Gawryluk,[1,*] Javier del Campo,[1] Noriko Okamoto,[1] Jürgen F.H. Strassert,[1] Julius Lukeš,[2,3] Thomas A. Richards,[3,4] Alexandra Z. Worden,[3,5] Alyson E. Santoro,[3,6] and Patrick J. Keeling[1,3,7,*]
[1]Department of Botany, University of British Columbia, 3529-6270 University Boulevard, Vancouver, BC V6T 1Z4, Canada
[2]Institute of Parasitology, Biology Centre, Czech Academy of Sciences and Faculty of Sciences, University of South Bohemia, 370 05 České Budějovice, Czech Republic
[3]Integrated Microbial Biodiversity Program, Canadian Institute for Advanced Research, Toronto, ON M5G 1Z8, Canada
[4]Department of Biosciences, University of Exeter, Geoffrey Pope Building, Exeter EX4 4QD, UK
[5]Monterey Bay Aquarium Research Institute, 7700 Sandholdt Road, Moss Landing, CA 95039, USA
[6]Department of Ecology, Evolution and Marine Biology, University of California, Santa Barbara, Santa Barbara, CA 93106, USA
[7]Lead Contact
*Correspondence: ryan.gawryluk@gmail.com (R.M.R.G.), pkeeling@mail.ubc.ca (P.J.K.)
http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2016.09.013

Couplage avec la métagénomique

Les cultures et les collections

La mise en culture, puis en collection, reste la méthode de choix pour étudier les microorganismes (eucaryotes et procaryotes), mais

- **De nombreux microbes sont difficilement mis en culture pour des raisons diverses pas toujours claires (temps de génération long, vie en association, dormance…)**

- **Les microorganismes à croissance rapide et ne vivant pas en symbioses (mutualistes ou parasitaires) sont souvent surreprésentés dans les collections**

- **Le maintien des collections pose des problèmes (place, coûts, dérive des souches…)**

En fonction des stratégies nutritionnelles les mises en cultures sont plus ou moins difficiles

champignons: milieu **axénique simple** avec source de carbone organique

protozoaires: milieu **monoxénique**

algues: milieu **axénique** sans source de carbone autre que CO_2

symbiontes parasites et mutualistes: milieu **axénique complexe**, voire sur **cultures cellulaires**

tubes

Boites de Petri

Fioles de Roux

Erlenmeyer

- **Milieu axénique:** sans organisme vivant

- **Milieu monoxénique:** avec une seule proie

- **Milieu polyxénique:** avec plusieurs proies

- **Milieu minimum:** milieu avec source de C, N + oligoéléments et éventuellement vitamines
- **Milieu complet:** milieu avec la totalité des molécules utilisées par un organisme

- **Milieu riche:** avec une grande quantité de carbone (typiquement 10g/L de glucose)
- **Milieu pauvre:** avec une faible quantité de carbone (typiquement 1g/L de glucose)

Un inventaire illustré de la diversité des eucaryotes

champignons

algues

protozoaires

parasites

Champignon: le cycle typique

Spore

Aplanospore
Zoospore
Mitospore
Meiospore

Thalle végétatif

Levure
Moisissure (mycélium)

Sporophore

Carpophore
Conidiophore
Sporangiophore

Les champignons

Les oomycètes et autres pseudo-champignons

- Quelques milliers d'espèces

- Champignons qui ne produisent pas de sporophores visibles à l'œil nu, ni des levures

- Très fréquents dans les eaux douces où ils vivent en saprotrophes et en parasites d'insectes, de poissons et d'algues, pas de lichens ou de mycorhizes

- Sortis de l'eau avec les plantes sur les lesquelles ils vivent en parasites

- le mildiou de la vigne (*Plasmopara viticola*)

- le mildiou de la patate (*phytophora infestans*)

Les *Pseudomycota*

L'histoire évolutive des oomycètes

phagotrophe

symbiose avec une algue rouge

création de la paroi

autotrophe

Algues Brunes
Diatomées…

adaptation à la vie de saprotrophe et perte du plaste

mise en place des hyphes

perte du flagelle chez certaines espèces

sortie de l'eau en tant que parasites de plantes

Un exemple de zoospore

Les eumycètes ou vrais champignons

- Plusieurs centaines de milliers (millions?) d'espèces

- Champignons qui produisent les carpophores visibles à l'œil nu, mais aussi les levures et la majorité des moisissures

- ont colonisé pratiquement tous les milieux mais sont particulièrement abondants dans les sols des forêts

- ont adopté des stratégies de vie très différentes, les principales sont:

  - saprotrophes ou saprobes (anc. saprophytes) (~50% des espèces)

  - mutualistes de plantes: mycorhizes et endophytes (~10% des espèces)
  - mutualistes d'algues et de bactéries: lichens (~20% des espèces)
  - parasites de plantes (~15% des espèces)

  - mutualistes d'animaux (~1% des espèces)
  - parasites d'animaux (~2% des espèces)
  - parasites de champignons (~1% des espèces)

Les *Eumycota*

L'histoire évolutive des *Eumycota*

Structure d'un(e) hyphe

mycélium

mycélium siphonné *vs* mycélium septé

Structure d'une levure

Saccharomyces cerevisiae

Schizosaccharomyces pombe

Quelques champignons inférieurs

Batrachochytrium dendrobatidis

Rhizopus oryzae

Mucor mucedo

Neocallimastix frontalis

Pilobous crystallinus

Les champignons supérieurs:

Un exemple de *Saccharomycotina*

cycle de *Saccharomyces cerevisiae*
Levure de la bière
Levure du vin
Levure du pain

Les ascomycètes *Pezizomycotina*

Carpophores d'ascomycètes

apothécie

truffe

cleistothèce

périthèce

pseudothèce

Conidiophores d'ascomycètes

Les basidiomycètes *Agaricomycotina*

Carpophores de basidiomycètes

"croûtes et cervelles"

agarics

bolets

"coraux"

polypores

vesses

L’agaric, une invention récurrente

les agarics sont partout!

Les algues

Monde eucaryote
Amorphea
Opisthokonta
Holozoa
Metazoa
Choanoflagellata
Holomycota
Eumycota
Rozellida
Nucleariida
Amebozoa
Conosa
Mycetozoa
Variosea
Lobosa
Tubulinea
Discosea
Excavata
Metamonada
Discoba
Diaphoretickes
Achaeplastida
Rhodophyta
Viridiplantae
Glaucophyta
Hacrobia
Haptista
Cryptista
Heterokonta
Pseudomycota
Ochrophyta
Bygira
Alveolata
Apicomplexa
Dinoflagellata
Ciliophora
« SAR »
Rhizaria
Radiolaria
Foraminifera
Cercozoa
« Bikonta »
« Diphoda »
« Unikonta »
« Opimoda »
Eubacteria
Archaea
Monde procaryote

L'évolution des algues est complexe

double membrane

triple ou quadruple membranes

Origines indépendantes multiples → Cycles de vie et biologies très diverses!

Par exemple,

- **Certaines sont toujours des prédateurs!**
- **D'autres vivent en symbioses (lichens, coraux…)**
- **Les ancêtres du parasite responsable de la malaria étaient des algues!**
- **Certaines sont unicellulaires, d'autres sont pluricellulaires**
- **Les plantes sont issues d'une lignée d'algue particulière**

L'origine des plantes

Invention de la photosynthèse oxygénique par les cyanobactéries (Grande Oxydation)

Les plantes sortent de l'eau

Les protozoaires

L 'eucaryote ancestral était probablement un protozoaire phagotrophe biflagellé

- Tous les groupes eucaryotes possèdent des phagotrophes
- Tous différencient des formes amoeboïdes
- Évolutions récurrentes de multicellularité simple
- Une lignée de protozoaires a eu un succès important et a donné naissance aux animaux qui ont une pluricellularité complexe

L'origine des animaux

Plusieurs modèles d'évolution

Mon favori entouré en rouge explique les transitions nutritionnelles de la phagotrophie vers l'ingestion

Les parasites (de l'homme)

Epidémiologie des parasites de l'homme

Estimation des morts par parasitoses en 2013	
Maladie	nombre de morts
malaria	584 600
leishmaniose (Kala-azar)	62 500
cryptosporidiose	41 900
amibiase	11 300
maladie de Chagas	10 600
trypanosomiases africaines	6 900
"vers" nematodes et plathelminthes	13 000
Total	1 000 700

Protozoaires (et animaux) ayant des stratégies d'invasion et de maintien au sein de leurs hôtes (homme et vecteurs) qui sont leurs seuls lieux de vie active

Un exemple: Plasmodium et le paludisme

Quelques malades

malaria

Leishmanioses

Maladie de Chagas

Maladie du sommeil

Amibiase

Et les champignons?

→ Pathogènes « opportunistes »

Estimation des cas de mycoses en 2014					
maladie	immuno-compétents	SIDA	malades du système respiratoire	immuno-supprimés cancereux	patients en soins intensifs
muguet (candidose orale)		9 500 000	100 000	>1 000 000	
candidose vaginale	75 000 000				
candidose de l'œsophage		2 000 000			
candidose systémique				100 000	200 000
aspergillose pulmonaire chronique			3 000 000		
aspergillose invasive			>100 000	>50 000	50 000
cryptococcose (méningite)	>1 000	100 000		>1 000	
pneumocystose (pneumonie)		>200 000		>100 000	
mycoses des yeux	1 000 000				
mycoses de la peau ou des cheveux	200 000 000				
asthmes et autres allergies respiratoires			7 500 000		

→ Leur principales cibles animales: les animaux à sang froid

Mycétome à Madurella

Candidose buccale

Pied d’athlète

Cryptococcose

En conclusion

- Ni la morphologie, ni les stratégies trophiques ne correspondent à des groupes biologiques « monophylétiques »

- La terminologie « usuelle » permet néanmoins de caractériser facilement les stratégies trophiques et les formes principales adoptées par les organismes eucaryotes

- Il existe une terminologie adaptée mais complexe qui reflète réellement l'évolution

- La biodiversité des eucaryotes est beaucoup plus importante que celle usuellement présentée qui ne caractérise que deux lignées : les animaux et les plantes…

Les protistes eucaryotes dans la biosphère

→ Les protistes eucaryotes sont omniprésents dans la biosphères, où ils représentent une biomasse plus importante que celle des animaux !

- Dans les eaux marines et dulçaquicoles
- Dans les sols (jusqu'à plusieurs km de profondeurs)
- Dans et sur les plantes
- Dans et sur les animaux
- *etc.*

Définition stricte des protistes: algues + protozoaires

Sols profonds
Et océans

Une estimation:

(attention, il en existe plusieurs estimations contradictoires, surtout au niveau des virus…)

Les protistes eucaryotes dans la biosphère

→ Ils jouent des rôles écologiques essentiels:

- fixation du carbone atmosphérique
- recyclage des matières mortes et santé des sols
- parasites ou symbiotes de nombreux végétaux et animaux
- contrôle de la prolifération bactérienne

etc. etc.

Les flux de carbones dans la biosphère

Attention chiffres variables…

L’atmosphère contient 750 GtC

La photosynthèse fixe 121.3 + 90 = 211.3 GtC/an

=> si le carbone n’est pas recyclé, la photosynthèse vide l’atmosphère de son gaz carbonique en moins de quatre ans…

→ Le carbone est remis en circulation principalement grâce à la respiration (aérobie) et à la fermentation (anaérobie) : 210 Gtc/an

Qui respire dans les océans?

mégafaune

Krill

Protozoaires / Zooplancton

Phytoplancton

~100 GtC

chaines alimentaires basées sur le « phytoplancton »

Un calcul basé sur l'analyse d'images satellites indique que la biomasse des algues eucaryote représente au moins 77% de la biomasse totale photosynthétiques des océans mesurée en équivalent masse de pigments. La grande majorité de la fixation du carbone dans les océans passe donc par les micro-algues eucaryotes

Cette estimation ne tient pas compte des dinoflagellés car probablement pigments trop divers

chiffres très variables pour la contribution des cyanobactéries: de 10 à 50%...

Les groupes importants de micro-algues

Diatomées

Haptophytes

Dinoflagellés

Données de métagénomiques

Encore une fois sous estimés dans certaines analyses car génomes atypiques

Un exemple de la nécessité de bien connaitre la biologie des organismes pour interpréter les données

origines multiples de leurs pigment photosynthétiques

⬅ **dinoflagellés** ➡

noyaux avec ADN modifié

Les marées rouges

causées par l'accumulation de dinoflagellés

Les haptophytes causent des marée blanches!

Les premiers étages des chaines alimentaires marines sont constitués essentiellement de protistes: protozoaires et algues mixotrophes

Nature Reviews | Microbiology

Projet « Tara Océans »

Marine plankton support global biological and geochemical processes. Surveys of their biodiversity have hitherto been geographically restricted and have not accounted for the full range of plankton size. We assessed eukaryotic diversity from 334 size-fractionated photic-zone plankton communities collected across tropical and temperate oceans during the circumglobal *Tara* Oceans expedition. We analyzed 18*S* ribosomal DNA sequences across the intermediate plankton-size spectrum from the smallest unicellular eukaryotes (protists, >0.8 micrometers) to small animals of a few millimeters. Eukaryotic ribosomal diversity saturated at ~150,000 operational taxonomic units, about one-third of which could not be assigned to known eukaryotic groups. Diversity emerged at all taxonomic levels, both within the groups comprising the ~11,200 cataloged morphospecies of eukaryotic plankton and among twice as many other deep-branching lineages of unappreciated importance in plankton ecology studies. Most eukaryotic plankton biodiversity belonged to heterotrophic protistan groups, particularly those known to be parasites or symbiotic hosts.

Eukaryotic plankton diversity in the sunlit ocean

zone côtière
algues multicellulaires
protistes et animaux
zone pélagique superficielle
micro-algues et cyanobactéries et bactéries
protistes phagotrophes
animaux
zone photique
zone pélagique profonde
bactéries osmotrophes
protistes phagotrophes
?
animaux
sources hydrothermales des dorsales océaniques
bactéries chimiotrophes
protistes et animaux
bactéries et *Eumycota*
protistes phagotrophes
benthos

Qui respire dans les milieux terrestres: ?

vertébrés

insectes

chaines alimentaires basées sur les plantes

La structure de la paroi végétale rend les plantes difficilement digestes

Qui respire cette biomasse récalcitrante?

➔ les animaux pour ~25 GtC

➔ les bactéries pour ~10 GtC

➔ les champignons pour ~85 GtC

Exemple de composition d'un sol typique de forêt (60 premiers cm) hors racines des plantes

- 60-70 % de champignons
- 10-20% de bactéries
- 10% animaux
- 10% autres protistes

zone aérobie dominée par les champignons

zone anaérobie dominée par les bactéries

Les champignons acteurs majeurs de la formation et de la santé des sols

Quelques chiffres :

- Dans 1 litre de sol: 600 km d'hyphes mycéliens
- Dans le sol d'un hectare de forêt: équivalent en masse de 20 vaches
- Dans l'ensemble des forêts du globe: équivalent en masse de 2 000 milliards d'êtres humains
- Les spores fongiques représentent jusqu'à 45% de la masse des grosses particules présentes dans l'air: cela représente 50 millions de tonnes/an de particule émises dans l'air, soit la plus grande source d'émission de matière organique dans l'atmosphère…

Les saprotrophes

Les eumycètes filamenteux (surtout les basidiomycètes) sont les organismes qui sont les mieux adaptés à la dégradation enzymatique des matières végétales solides: ils recyclent environ 90% de la biomasse végétale morte terrestre

Pourriture cubique et brunes

Pourriture fibreuse blanche

attaques radicalaires par des oxydases

hydrolases de glycosides

Dégradation de la lignine

dégradation enzymatique de la cellulose

l'apparition de la capacité à dégrader efficacement la lignocellulose est contemporaine de la fin de la déposition importante du matériel végétal qui a donné le charbon…

Carbonifère

Un fossile mystérieux: *Prototaxites*

Silurien/Dévonien

Dans la nature, production d'acides humiques importants pour la santé des sols

monomère supposé d'acide humique

➔ rétention de substances (sels minéraux, polluants...)
➔ interfère avec l'absorption de l'eau dans les sols

un sol en bonne santé (et donc productif) contient une grande quantité d'acide humique (" l'humus ") qui est fabriqué par les champignons saprotrophes via l'apport (annuel dans nos régions) de biomasse végétale

Des champignons mutualistes d'animaux les aident à digérer les végétaux!

Leucoprinus, Termitomyces…

Neocallimastix, Piromyces…

fourmis Atta, termites, insectes xylophages…

ruminants

D'autres champignons dégradent les excréments

Et réciproquement!

nématodes

collemboles

acariens

lombrics

Plant and Soil **170:** 209–231, 1995.
© 1995 *Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.*

How do earthworms affect microfloral and faunal community diversity?

George G. Brown
Department of Crop and Soil Sciences and Institute of Ecology, University of Georgia, Athens, GA, 30602, USA.
Present address: Laboratoire d'Ecologie des Sols Tropicaux, Université Paris VI/ORSTOM, 72 route d'Aulnay, Bondy 93143, France

Abstract

Much of the work regarding earthworm effects on other organisms has focused on the functional significance of microbial-earthworm interactions, and little is known on the effects of earthworms on microfloral and faunal diversity. Earthworms can affect soil microflora and fauna populations directly and indirectly by three main mechanisms: (1) comminution, burrowing and casting; (2) grazing; (3) dispersal. These activities change the soil's physico-chemical and biological status and may cause drastic shifts in the density, diversity, structure and activity of microbial and faunal communities within the drilosphere. Certain organisms and species may be enhanced, reduced or not be affected at all depending on their ability to adapt to the particular conditions of different earthworm drilospheres. A large host of factors (including $CaCO_3$, enzymes, mucus and antimicrobial substances) influence the ability of preferentially or randomly ingested organisms to survive (or not) passage through the earthworm gut, and their resultant capacity to recover and proliferate (or not) in earthworm casts. Small organisms, particularly microflora and microfauna, with limited ability to move within the soil, may benefit from the (comparatively) long ranging movements of earthworms. Microflora and smaller fauna appear to be particularly sensitive to earthworm activities, and priming effects enhancing nutrient release, particularly in casts, are common. Larger fauna such as microarthropods, enchytraeids and Isopods may be enhanced under some conditions (e.g., in earthworm middens), but in other cases earthworm activity may lead to a decrease in their populations due to competition for food (microbes and organic materials), and spatial and temporal changes in food abundance. Nevertheless, considering the presently available data, the beneficial interactions of earthworms and microflora and fauna appear to far outweigh the potential negative effects. However, much is still unknown regarding the interactions of earthworms of different ecological categories on the diversity and function of microfloral and faunal communities, and much more interdisciplinary research is needed to assess the potential role of earthworms in regulating the diversity of microflora and fauna in soil systems and the potentially beneficial or harmful effects this regulation may have on ecosystem function and plant growth in different ecosystems.

Effets antagonistes:
Consommation des champignons
vs
Fragmentation de la biomasse, dispersion et autres actions sur les champignons

Cycle du carbone dans nos forêts

Repos hivernal

Germination des spores fongiques

Réveil des mycorhizes

Début de la dégradation des feuilles tombées au sol

Maximum d'activité photosynthétique

Maximum d'activité de la dégradation des feuilles

Fabrication de l'humus

Baisse de la photosynthèse

Chute des feuilles

Sporulation fongique

Cycle du carbone dans les forêts et savanes tropicales

Saisonnalité peu marquée: production constante de biomasse

Consommation par les termites:
- grâce à des champignons (*Termitomyces*) chez les « termites supérieurs »
- grâce à des protozoaires (*Oxymonadida* et *Parabasalia*) chez les « termites inférieurs »

Et les fourmis:
- grâce à des champignons (*Leucoagaricus*, *Leucoprinus*…)

meules

Les mutualistes mycorhiziens: une plante donne en moyenne 20% de ses produits de photosynthèse à ses champignons mycorhiziens

sans

avec

Plante ⇄	Champignon
Produits de la photosynthèse	Sels minéraux (N et P) Eau + protection

Les endophytes

Omniprésents: chaque plante héberge plusieurs espèces de champignons

Rôles souvent inconnus : protection contre les herbivores ou les autres champignons pathogènes? Présence contingente?

Impact des attaques sur les productions végétales

Au total, de 31 à 42% de pertes sur l'ensemble des cultures mondiales dont:

- Ravageurs (insectes, nématodes…): 12,2%

- Mauvaises herbes: 10,2%

- Maladies : 14,1%, soit 220 milliards de $ rien qu'aux USA!

→ ~85% des maladies des plantes sont fongiques!

Importance croissante des champignons phytopathogènes

Les champignons phytopathogènes

Ils causent 20% de perte en agriculture en année moyenne, soit L'équivalent de la consommation de 600 millions d'êtres humains!

Les dix pathogènes émergents de plantes qui inquiètent les agronomes			
espèces	taxon	maladie	plantes hôtes
Phytophthora infestans	Oomycota	pourriture	patates et tomates
Peronosclerospora sorghi	Oomycota	mildiou	maïs et sorgho
Tilleria indica	Ultilaginomycotina	carie	blé
Phakopsora pachyrhizi et P. meibomiae	Pucciniomycotina	rouille	soja
Puccinia horiana	Pucciniomycotina	rouille blanche	chrysanthème
Puccinia melanocephela	Pucciniomycotina	rouille	canne à sucre
Moniliophthora roreri	Agaricomycotina	moniliose	cacao
Guignardia citricarpa	Pezizomycotina	tâches noires	agrumes
Elsinöe australis	Pezizomycotina	anthracnose	oranger
Virus africain de la mosaïque du manioc		Chlorose	manioc

Quelques espèces phytopathogènes

Pyriculariose du riz

Rouille du blé

Maladie hollandaise de l'orme

Septoriose du blé

Monilliose de la pomme

Pour un agriculteur: semence 70€, engrais 100€, herbicides 50€, insecticides 5€ et 75€ pour les fongicides!

Les rôles écologiques essentiels des champignons sont donc en relation avec les plantes

maladies des plantes

Nutrition et santé des plantes

relargage de CO_2 mais solubilisation des sels minéraux, mobilisation de l'azote et fabrication de l'humus:

effet net sur la fixation de CO_2 grâce à la santé de sols !

Les lichens

Symbiose champignon/ algue ou cyanobactérie

Les lichens

- Recouvrent environ **8%** des surfaces émergées

- Sont les premiers colonisateurs des surfaces émergées nouvellement formées: iles, coulées de laves…

  → Ils ont créé et continuent de créer les sols via la sécrétion d'acides!

Le cycle de l'azote

Résultats des analyses dans les écosystèmes terrestres

En conclusion

Nombres de publications dans le web of science

- Bien que sous-étudiés, les microbes eucaryotes ont des rôles essentiels dans les écosystèmes, en particulier au niveau du cycle du carbone
- ils constituent une biomasse considérables, en particulier dans les écosystèmes de sub-surfaces (60 premiers cm du sol: champignons) et marins (micro-algues et protozoaires)

Interactions des protistes eucaryotes avec les sociétés humaines

→ Les microbes eucaryotes jouent des rôles essentiels dans nos sociétés :

- santé : maladies et médicaments
- dégradation
- alimentation
- recherche
- industrie: pharmacie, biotechnologie, biocarburants…

Microorganismes Eucaryotes et Santé

Les parasites sont importants surtout dans la zone intertropicale

Les problèmes:

- Absence de traitements efficaces
- Développement rapide de résistances
- Pas de vaccins efficaces

→ Dans la plupart des cas, la prévention est plus efficace que les traitements:

- hygiène (amibiases)
- luttes contre les vecteurs (moustique, mouche tsé-tsé…)
- éducation

toilettes

Insecticides
Moustiquaires…

brochures

Outre les grandes maladies, il existe quelques autres maladies parasitaires plus rares – l'exemple de la « méningo-encéphalite amibienne primitive »

Causée par
Naegleria fowleri

*** ~300-350 cas diagnostiqués dans le monde de 1909 à 2008, 11 survivants**
*** 1 seul cas en France en Guadeloupe en 2008**

Comme pour les autres maladie: impact du réchauffement climatique ?

Et les champignons ?

courrierinternational.com/article/sante-le-champignon-microscopique-candida-auris-une-menace-grandissante-pour-la-sante

SOURCE The New York Times

PARTAGER

RÉAGIR IMPRIMER

LECTURE ZEN

NEWSLETTERS

ABONNEZ-VOUS À PARTIR DE : 1€

HAUT DE PAGE

Santé. Le champignon microscopique "Candida auris", une menace grandissante pour la santé publique

SANTÉ 〉 SCIENCE & TECHNO 〉 THE NEW YORK TIMES - NEW YORK

Publié le 08/04/2019 - 17:26

Une mystérieuse infection due à un champignon résistant aux traitements se développe dans le monde, et ce dans un climat de secret, dénonce le *New York Times*.

Voilà des décennies que les experts en santé publique mettent en garde contre la surconsommation d'antibiotiques, responsable du développement des superbactéries qui provoquent des infections potentiellement mortelles. "*Mais depuis quelque temps, on observe aussi une démultiplication des champignons résistants aux traitements, ajoutant ainsi une*

LES PLUS LUS

Animaux. Madrid va exterminer 12 000 perruches

États-Unis. Hunter Biden, le fils qui plombe la campagne de son père

Géopolitique. En "abandonnant" les Kurdes, Donald Trump fâche son propre camp

États-Unis. Trump : Le "deep state" se rebiffe

Le dessin du jour. Mondiaux d'athlétisme au Qatar : fin du fiasco

NOS SERVICES

PRIX PLUMES LIBRES POUR LA DÉMOCRATIE Votez dès maintenant pour le prix du public du meilleur dessin de

Nb de septicémies

Martin GS et al. *N Engl J Med* 2003 ;348(16):1546-54

Incidence des candidoses à Paris

Les mycoses sont en augmentation

Les écosystèmes ne sont pas épargnés

chytridiomycose

Grenouilles et *Batrachochytrium dendrobatidis*

White-nose bat syndrome

Chauve-souris et *Pseudogymnoascus destructans*

Snake fungal disease

serpents et *Ophidiomyces ophiodiicola*

Les allergies

MARKET MUS × Bulletin moisissures atmosphériqu ×

pollens.fr/les-bulletins/bulletin-moisissures

Le RNSA | Les événements | Les partenaires | Liens | Contact | MedAeroNet | Accès adhérents | FR

RNSA
RÉSEAU NATIONAL DE SURVEILLANCE AÉROBIOLOGIQUE

LES BULLETINS | RISQUES PAR VILLE | RISQUES PAR POLLEN | ALERTES POLLENS | LE RÉSEAU

Accueil > Bulletin moisissures atmosphériques

BULLETIN MOISISSURES ATMOSPHÉRIQUES

Bulletin n°40 du 4 octobre 2019

Vous trouverez ci-dessous le lien pour accéder aux graphiques pour les spores d'Alternaria et de Cladosporium sur chaque site effectuant les analyses.

Télécharger le **Bulletin - Alternaria et Cladosporium**

Légende

Abscisse : Les graphiques représentent les quantités hebdomadaires de spores enregistrées chaque semaine pour Alternaria et Cadosporium, avec en fond, la moyenne sur 3 ans (2016-2017-2018) de ces mêmes spores de moisissures.

Seuil de risque allergique (en spores/m3/semaine) : 3500 à 7000 (Alternaria) et 56000 (Cladosporium).

Commentaires

Les concentrations en spores de moisissures sont faibles mais attention aux semaines pluvieuses qui font ressortir les spores.

Partenaires

Centre Hospitalier d'Aix-en-Provence
Service parisien de santé environnementale
Centre Hospitalier de Strasbourg
Service de Mycologie des Hôpitaux de Toulouse
APPA Nord-Pas-de-Calais

Changement climatique, moisissures aéroportées et risques sanitaires associés

Convention 2010 DGS/RNSA relative au financement d'une étude sur les impacts attendus du changement climatique sur les moisissures aéroportées et les risques sanitaires associés : rapport définitif

Qualité de l'air intérieur: en plus des allergènes, les composés organiques volatiles (COVs)!

Le syndrome des bâtiments malsains (Sbs)

Productions de métabolites secondaires: poisons et mycotoxines

Amanita phalloides

α-amanitin (A) and phallacidin (B)

Mycotoxines: cancérigènes, neurotoxiques…

Quelques mycotoxines et leurs effets chez les animaux

Champignons	Mycotoxines	Matières premières
Aspergillus	Aflatoxines Ochratoxine A Patuline	Maïs, arachides, coton, semences, riz, haricots, lait, tissus animaux, ensilage
Fusarium	Trichothécènes, zéaralénone Fumonisines, fusarine C	Blé, maïs, orge, riz, seigle, avoine, noix
Penicillium	Patuline, citrinine, Ochratoxine A, acide cyclopiazonique	Fruits, jus de fruits, blé, riz Fromage, noix, tissus animaux, ensilage
Byssochlamys	Patuline	Fruits et jus de fruits, ensilage
Claviceps	Alcaloïdes de l'ergot	Seigle, blé
Alternaria	Alternariol Acide ténuazonique	Fruits, légumes Pommes et tomates

Hallucinogènes: psylocybine et psylocine de *Psilocybe*

psilocybine

psilocine

STATUT LEGAL

Les champignons hallucinogènes sont une drogue classée parmi les stupéfiants.
L'usage est interdit : l'article L3421-1 du Code de la Santé Publique prévoit des amendes (jusqu'à 3 750€) et des peines de prison (jusqu' à 1 an).
L'incitation à l'usage et au trafic et la présentation du produit sous un jour favorable sont interdites : l'article L3421-4 du Code de la Santé Publique prévoit des amendes (jusqu'à 75 000€) et des peines de prison (jusqu'à 5 ans).
Les actes de trafic sont interdits : les articles 222-34 à 222-43 du Code Pénal prévoient des amendes (jusqu'à 7 500 000 €) s'accompagnant de peines de prison (jusqu'à 30 ans de réclusion criminelle).

Galerina marginata: plus toxique qu'*Amanita phalloïdes*

Attention identification difficile

EFFETS SECONDAIRES

L'intensité des effets varie selon chaque personne, le contexte dans lequel elle consomme, la quantité et la qualité de produit consommé.

- vertiges, étourdissements,
- troubles digestifs (nausées, douleurs abdominales),
- engourdissement des membres,
- perte d'équilibre, mauvaise coordination des mouvements,
- augmentation de la température corporelle,
- transpiration abondante,
- accélération du rythme cardiaque,
- élévation de la tension artérielle,
- dilatation des pupilles.

RISQUES ET COMPLICATIONS

Les risques liés à la consommation de champignons hallucinogènes sont essentiellement le surdosage et les complications psychiques et psychiatriques.

Une ingestion massive de champignons peut entraîner de graves complications (convulsions) évoluant jusqu'au décès, mais cela reste très rare. L'usage de l'amanite tue-mouche est particulièrement problématique (la frontière entre doses hallucinogènes et toxiques étant très étroite), et peut causer délire, convulsions, coma, décès par arrêt cardiaque.

La consommation de champignons peut être vécue comme une expérience très traumatique appelée « bad trip ». Il se caractérise par une anxiété, une désorientation, des crises de panique, une incapacité à distinguer illusions et réalité, une peur de ne plus retrouver son état normal, une impression de ne plus rien contrôler.

Des complications psychiatriques plus sévères peuvent survenir, en particulier chez les consommateurs d'amanite tue-mouche. Elles se traduisent par un délire paranoïde (idées délirantes, perte de contact avec la réalité) pouvant être accompagné de comportements violents (actes d'automutilation, tentatives de suicide…) pouvant nécessiter une hospitalisation et/ou un traitement médicamenteux.

Par ailleurs, pendant quelques semaines, voire quelques mois, l'usager peut, de manière involontaire et imprévisible, retrouver certains effets ressentis lors de la consommation, dans des moments de fatigue, de stress ou d'autres usages de drogues. Ce phénomène est appelé le « flash-back ».

Des algues produisent aussi des toxines

dinoflagellés

saxitoxine

Acide okadaïque

ciguatoxine

Destructions des habitats, livres, films, tableaux…

habitats

livres

pellicules

voitures

denrées alimentaires

Peintures et sculptures

Microorganismes Eucaryotes et Alimentation

Alimentation : Les carpophores de champignons

culture

récolte

Pâte de levure

La consommation et la culture des champignons est très importante en Extrême-Orient (Chine, Japon, Thaïlande…)

Figure 2.3 Cultivated mushroom production in China and selected regions of the world, 2013 (billion kg).

Alimentation: la transformation des aliments

Saccharomyces cerevisiae

Penicillium carneum
Penicillium paneum

Penicillium roqueforti
Penicillium camemberti
Geotrichum candidum …

Alimentation: la transformation des aliments suite

Levures : fermentation alcoolique

Koji mold: Aspergillus oryzae

Et les algues?

Consommation directe

Porphyra

nori

sushi

Ulva

Undaria

wakame

Les produits tirés des algues: les gélifiants, émulsifiants, épaississants…

Agar-agar

Alginates

Carraghénanes

Table 12 : Polymères produits par les *Rhodophyta* et les *Phaeophyta*				
polymère	algues utilisées	masse (tonnes)	Prix (€/kg)	valeur totale (millions d'€)
Agar	Gelidium sp. Pterocladia sp. Gracilaria.sp.	10 161	20	203
Carraghénane	Kappaphycus alvarezii Eucheuma denticulatum Betaphycus gelatinum Chondrus crispus …	25 403	8	203
Alginates	Laminaria sp. Macrocystis pyrifera Ascophyllum nodosum …	>25 000	6	150
	Total	>61 000	-	560

Microorganismes Eucaryotes et Recherche

Saccharomyces cerevisiae

Modèle d'étude de la biologie de la cellule eucaryote

1er génome eucaryote séquencé (1996)

1ere collection de délétions systématiques des gènes

…

Quelques autres modèles

Schizosaccharomyces pombe
analyse du cycle cellulaire…

Neurospora crassa
(Un gène-un enzyme)
Cycle circadien, fusion cellulaire…

Aspergillus nidulans
(cycle parasexuel)
Cytosquelette, chromatine…

Tetrahymena thermophila
télomerase

Physarum polycephalum
Bio-ordinateurs…

Paramecium spp.
Cytosquelette
Cycle sexuel…

Dictyostelium discoideum
Biologie cellulaire
Apoptose
Chimiotactisme …

Chlamydomonas reinhardtii
Photosynthèse, flagelle…

Celui que nous étudions dans mon laboratoire

Podospora anserina

Culture facile
Cycle d'une semaine
Transformation génétique
Séquence du génome

GÉNÉTIQUE. — *Sur l'impossibilité d'obtenir la multiplication végétative ininterrompue et illimitée de l'Ascomycète* Podospora anserina. Note de M. Georges Rizet, présentée par M. Roger Heim.

Les souches de *Podospora anserina*, quels que soient apparemment leur génotype et le milieu de culture utilisé, meurent au bout d'un certain temps de croissance ininterrompue. Les longévités observées pour les souches étudiées sont très diffé-

Sénescence et mitochondries

nature — Vol 435|9 June 2005|doi:10.1038/nature03793

LETTERS

Correlation of structural elements and infectivity of the HET-s prion

Christiane Ritter[1*], Marie-Lise Maddelein[2*], Ansgar B. Siemer[3*], Thorsten Lührs[1], Matthias Ernst[3], Beat H. Meier[3], Sven J. Saupe[2] & Roland Riek[1]

Prions

Research — Open Access

The genome sequence of the model ascomycete fungus *Podospora anserina*

Eric Espagne[a*†], Olivier Lespinet[a*†], Fabienne Malagnac[a*†‡], Corinne Da Silva[§], Olivier Jaillon[§], Betina M Porcel[§], Arnaud Couloux[§], Jean-Marc Aury[§], Béatrice Ségurens[§], Julie Poulain[§], Véronique Anthouard[§], Sandrine Grossetete[††], Hamid Khalili[††], Evelyne Coppin[††], Michelle Déquard-Chablat[††], Marguerite Picard[††], Véronique Contamine[††], Sylvie Arnaise[††], Anne Bourdais[††], Véronique Berteaux-Lecellier[††], Daniel Gautheret[††], Ronald P de Vries[¶], Evy Battaglia[¶], Pedro M Coutinho[¥], Etienne GJ Danchin[¥], Bernard Henrissat[¥], Riyad EL Khoury[#], Annie Sainsard-Chanet[#*†], Antoine Boivin[#*†], Bérangère Pinan-Lucarré[††], Carole H Sellem[#], Robert Debuchy[††], Patrick Wincker[§], Jean Weissenbach[§] and Philippe Silar[*‡‡]

Génomes

OPEN ACCESS Freely available online — PLOS | GENETICS

Genes That Bias Mendelian Segregation

Pierre Grognet[1,2¤], Hervé Lalucque[1,2], Fabienne Malagnac[1,2], Philippe Silar[1,2*]

Spore killer

OPEN ACCESS Freely available online — PLOS | GENETICS

A Network of HMG-box Transcription Factors Regulates Sexual Cycle in the Fungus *Podospora anserina*

Jinane Ait Benkhali[1,2], Evelyne Coppin[1,2], Sylvain Brun[1,2,3], Leonardo Peraza-Reyes[1,2], Tom Martin[4], Christina Dixelius[4], Noureddine Lazar[5], Herman van Tilbeurgh[5], Robert Debuchy[1,2*]

Cycle sexuel

PNAS

A mitotically inheritable unit containing a MAP kinase module

Sébastien Kicka*, Crystel Bonnet†, Andrew K. Sobering‡, Latha P. Ganesan§, and Philippe Silar¶

Epigénétique

Microorganismes Eucaryotes et Industrie

Productions de métabolites secondaires: médicaments

Penicillium chrysogenum

Pénicilline (antibiotique)

Tolypocladium inflatum

Ciclosporine (immunosuppresseur)

Claviceps purpurea

Ergotamine (vasoconstricteur)

Acide lysergique (hallucinogène)

Aspergillus terreus

Lovastatine (anticholestérolémique)

La médecine traditionnelle chinoise

Ophiocordiceps sinensis

20 000€/kg

Culture du mycélium

Réduction en poudre

9.99€

Utilisation en biotechnologie: la production d'acide citrique et de glucoamylase par *Aspergillus niger*

Waste and Biomass Valorization
March 2019, Volume 10, Issue 3, pp 631–640 | Cite as

Citric Acid Production by *Aspergillus niger* from Agro-Industrial By-Products: Molasses and Chicken Feather Peptone

- Acidifiant E330 (bonbons, glaces…) mais aussi dans les cosmétiques et médicaments
- Préservatif (sang)
- Dissolution de la rouille
- Supplément alimentaire…

- Production de sucre
- Aide à la fermentation
- Aide au brunissement de la croute de pain
- Bières « low calories »
- Aide à la digestions …

Enzymes, piles et batteries…

Des champignons dans les (futures) batteries

Tweeter 0 Partager

Les métaux rares utilisés dans les batteries conventionnelles et les piles à combustibles pourraient un jour être remplacés par des enzymes produites par des champignons.

Des chercheurs de l'Université d'Oxford ont démontré que les enzymes laccases, produites par des champignons qui poussent sur la pourriture du bois, peuvent être utilisées comme catalyseur, moins cher et plus efficacement que les métaux nobles comme le platine.

Les enzymes fongiques peuvent transformer/dégrader les polluants: la mycoremédiation

3-(3,4-dichlorophenyl)-1,1-dimethylurea)

bactéries

3,4 dichloroaniline

minéralisation

Action de l'arylamine N-acétyltransferase
De *Podospora anserina*

Changement climatique

Nécessité d'une transition énergétique

biocarburants de 1ere génération: les agro-carburants

Bioéthanol

Biodiesel

Évolution des objectifs d'incorporation de biocarburants (part énergétique en %)

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Essence	7	7	7	7	7	7	7	7	7.5	7.5	7.9
Gazole	7	7	7	7	7	7,7	7,7	7,7	7.7	7.7	7.9

Soit 3 335 000 tonne-équivalent-pétrole en 2017

facilité de production mais compétition avec l'alimentation humaine

biocarburants de 2eme génération

transformation de matériaux récalcitrants et solides en matériaux facilement transformables

Les enzymes proviennent des champignons du bois

Les pourritures blanches fibreuses

→ dégradent la cellulose, l'hémicellulose et surtout la lignine

Trametes

Phanerochaete

Les pourritures brunes cubiques

→ ne dégradent pas la lignine, seulement la cellulose et l'hémicellulose

Postia

Phomitopsis

« mauvais » modèles d'études et engineering quasi inexistant

Une alternative : les champignons industriels et modèles

Les industriels:

Aspergillus niger

Trichoderma reesei
(= Hypocrea jecorina)

Dégradent la cellulose et l'hémicellulose
Production d'enzymes de dégradation (cellulases, hémi-cellulases, …)

Les modèles:

Neurospora crassa

Podospora anserina

Dégrade aussi la lignine

Un grand programme de séquence de génomes fongiques pour identifier des enzymes d'intérêt pour les biocarburants

Un des plus grands programme de séquençage !

Comment ça marche?

Production de biomasse **conversion** **distribution**

Les carburants de seconde génération sont-ils « éco-compatibles »?

?

Type of plant	Plant capacity ranges, and assumed annual hours of operation.	Biomass fuel required. (oven dry tonnes / year)	Truck vehicle movements for delivery to the plant.	Land area required to produce the biomass. (% of total land within a given radius).
Small pilot	15,000-25,000 l/yr 2000 hr	40-60	3 - 5 / yr	1 - 3% within 1 km radius
Demonstration	40,000-500,000 l/yr 3000 hr	100-1200	10 - 140 / yr	5 - 10% within 2 km radius
Pre-commercial	1-4 M l/yr 4000 hr	2,000-10,000	25 - 100 / month	1 - 3% within 10 km radius
Commercial	25-50 M l/yr 5000 hr	60,000-120,000	10 - 20 / day	5 - 10% within 20 km radius
Large commercial	150-250 M l/yr 7000 hr	350,000-600,000	100 - 200 / day and night	1-2% within 100 km radius

biocarburants de 2eme génération en France

ACTU ENVIRONNEMENT .com

ACTU | Energie | Eau | Déchets | Risques | Bâtiment | Transport | Aménagement

Solutions & Innovations | Réglementation | Formation professionnelle | Agenda | Librairie

Biocarburants de 2e génération : la France veut mettre « le paquet »

Après le lancement, en 2008, du projet Futurol pour la production de bioéthanol de 2e génération, c'est au tour du projet Bio-T-Fuel de se pencher sur la production de biodiesel. Objectif : une production industrielle effective dès 2020.

Energie | 19 octobre 2009 | Carine Seghier

A- A+

© Filipebvarela

"La France va mettre le paquet sur la deuxième génération de biocarburant", a souligné, le 14 octobre dernier, la secrétaire d'État à l'Écologie, Chantal Jouanno, à l'occasion d'une visite de l'Institut Français du Pétrole (IFP) à Rueil-Malmaison (Hauts-de-Seine).

Si les doutes se font toujours plus nombreux quant à l'intérêt des agrocarburants de première génération, un consensus semble en revanche émerger pour mener des recherches sur ceux de seconde génération. Contrairement aux agrocarburants utilisés à l'heure actuelle qui utilise surtout le sucre et l'amidon et qui ne sont produits qu'à partir de certains éléments des plantes (graines ou tubercules), ceux de seconde génération peuvent être produits à partir de plantes entières. Il deviendrait alors

En 2009

Or, la consommation française de biocarburants liquides a dépassé 35 TWh en 2017, soit déjà ~70% de l'objectif 2050, ce qui pourrait préjuger d'une faible évolution du marché à long terme. C'est cependant sans compter le changement de génération de biocarburants qui devrait s'opérer en 30 ans. Alors que la SNBC mise sur les biocarburants dits « avancés », donc de deuxième et troisième génération, ceux-ci représentent actuellement moins de 10% de la consommation française de biocarburants liquides. De plus, ces volumes sont produits essentiellement à partir de déchets de cultures ou d'huiles usagées et non de biomasse lignocellulosique[3)], et ne requièrent donc pas des procédés différents de ceux de première génération. Ainsi une **véritable filière de deuxième génération, à base de biomasse lignocellulosique, n'existe pas encore en France et aucune décision d'investissement n'a été prise à date.**

E-CUBE STRATEGY CONSULTANTS

Quels risques pour les investisseurs dans la filière de biocarburants de deuxième génération ?

Le développement d'une véritable industrie française de biocarburants de deuxième génération pourrait être retardé par des objectifs 2030 insuffisamment ambitieux pour de potentiels investisseurs. En effet, 2 facteurs minimisent l'objectif de 3,5% d'incorporation d'ici 2030 annoncé par RED II :

- Un système de double-comptage permet de multiplier par 2 la part réelle d'énergie renouvelable des biocarburants avancés, faisant passer l'objectif de 3,5% à 1,75% dans la réalité.
- Lors des entretiens effectués, les acteurs de la filière ont évoqué la porosité actuelle de la définition de « déchets » dans la liste des intrants de deuxième génération (résidus de silos, pulpe de betterave, effluents d'huileries de palme, marcs de raisin). Certains marchés de niche pourraient ainsi être créés sans que soit développée une véritable industrie de deuxième génération fondée sur de nouveaux procédés et de nouveaux types d'intrants.

A date, alors que de nombreux acteurs[12)] ont déjà investi en R&D sur les procédés de deuxième génération, notamment à travers les projets BioTfuel et Futurol, aucune décision d'investissement à l'échelle industrielle n'a été réalisée en France.

Ce risque de retard contraste fortement avec les objectifs politiques annoncés à long terme par la SNBC,

En 2019

biocarburants de 3eme génération

utilisation de la biomasse des algues

Quelques espèces envisagées: principalement des micro-algues eucaryotes

Name of microorganisms	Oil content per ton of biomass (w_t% dry mass)	Lipid content (%, w/w_{dw})
Microalgae		
*Schizochytrium*sp.	50–77	35–55
Botryococcus braunii	64	25–75
Nitzschia laevis	69.1	–
Neochloris oleoabundans	35–65	29–65
Chlorella vulgaris	63.2	5–58
Parietochloris incise	62	–
Crypthecodium cohnii	56	20–51.1
S. obiquus	35–55	11–55
Nannochloris sp.	–	20–56
Nannochloropsis oculata	50	22.7–29.7
Nitzschia sp.	45–47	16–47
Scenedesmus dimorphus	16–40	
Monodus subterraneus	39.3	16
Phaeodactylum tricornutum	20–30	18–57
Haematococcus pluvialis	25	25
Dunaliella primolecta	23	23.1
Tetraselmis sueica	15–23	8.5–23
Chlorella sorokiana	22	19–22
Monallanthus salina	>20	20–22
Dunaliella salina	14–20	6–25
Porphyridium cruentum	19.3	9–18.8

Deux méthodes principales de production

Cultures à ciel ouvert

Peu coûteux
Mais

Contamination facile
(crustacés, champignons,
autres algues plus compétitives…)

Contrôle de la croissance réduite donc
Rendements souvent faibles

Photo-bioréacteur
(fermenteur « éclairé » avec contrôle partiel ou total des intrants: CO_2 stérile, eaux propres ou usagées…)

Coûteux à très couteux
mais
Contrôle de la croissance facile donc rendements élevés et
contaminations réduites à absentes

Où en est-on?

Bad News from the National Research Council (NRC)

The NRC has stated that large-scale production of biofuels from algae is untenable with existing technology and would require too much water, energy, and fertilizer. According to the NRC, using algae to produce one litre of gasoline requires 3.15 litres of water as a minimum (maximums range up to 3650 litres). Furthermore, meeting the demand for only 5% of the fuel used in the United States would require 6-15 million metric tons of nitrogen and up to 2 million metric tons of phosphorus. That is up to twice the amount of nitrogen fertilizers used to grow all the food the U.S. currently produces.

The NRC has stated that none of its concerns is a definitive barrier, but that research and development is needed to determine if the process can be made sustainable. Some solutions include the recycling of used water and nutrients and many strategies are currently under development with help from government grants.

On sait **produire de façon industrielle les microalgues** :

- en lagunages (bassins naturels) : des populations multialgales s'installent naturellement. Les coûts sont faibles mais la qualité médiocre,
- en systèmes ouverts (bassins artificiels) : les productions monoalgales ne sont possibles que dans des conditions particulières de culture (pH alcalin, hypersalinité), ou bien avec des espèces à croissance très rapide (Chlorella). Par ailleurs, une algue spécialisée de laboratoire, livrée aux aléas extérieurs,

Toutefois, pour conquérir le marché de l'énergie, il faudra **travailler sur le coût des procédés et sur la sélection des souches, sur les conditions de culture et d'extraction des produits** d'intérêt et sur une vision **totalement intégrée de la filière car** :

- la forte dilution dans l'eau des microalgues nécessite des étapes coûteuses de récolte et de séchage des algues avant extraction de l'huile,

La 4eme génération: des exemples fongiques

Production de lipides par les *Mortierella*

Et la production de mycodiesel!

MICROBIOLOGY SOCIETY

Journals · Information for Authors · Microbiology Society

MICROBIOLOGY Volume 154, Issue 11

Other | Free

The production of myco-diesel hydrocarbons and their derivatives by the endophytic fungus *Gliocladium roseum* (NRRL 50072)

Gary A. Strobel[1], Berk Knighton[2], Katreena Kluck[1], Yuhao Ren[1], Tom Livinghouse[2], Meghan Griffin[3], Daniel Spakowicz[3], Joe Sears[4]

THE SCIENCE OF EVERYTHING

COSMOS

WINNER OF 40 AWARDS

SOMETHING from NOTHING An evening with RICHARD DAWKINS & LAWRENCE K SYDNEY Thursday 1

News

Rainforest fungus gives off biodiesel

Agence France-Presse

Wednesday, 5 November 2008

Single page print view

PARIS: A reddish microbe discovered at a secret location in the rainforests of northern Patagonia has been found to expel hydrocarbon gas, with promise as a new source of biofuel.

Its potential is so startling that the discoverers have coined the term "myco-diesel" - a derivation of the word for fungus - to describe the various hydrocarbons that it produces as a gas.

A study detailing the find appears next week in the British journal, *Microbiology*.

Lucky breaks

"This is the only organism that has ever been shown to produce such an important combination of fuel substances," said Gary Strobel, a biologist at Montana State University in Bozeman, USA.

"The fungus can even make these diesel compounds from cellulose, which would make it a better source of biofuel that anything we use at the moment," he said.

Strobel, a 70-year-old veteran of the world's

The Patagonian tree fungus, *Gliocladium roseum* expels hydrocarbons which could be used as fue scientists say. Image shows the microbe growin a culture on a petri dish.

Credit: Gary St

Latest News
Frog skin secretion superbugs
Elusive neutrino o pinned down
Square, 'emerald- discovered
New tests for panc cancer offer hope
'Faster-than-light' fail cross-check

THI COSM ULTIM SCIEN GUID Discover

Table 1. GC/MS air-space analysis of the volatile compounds produced by *G. roseum* after 18 days incubation under microaerophilic conditions at 23 °C on medium A (oatmeal agar)

Time (min)	Relative area	Stds*†‡	Possible compound§	Mol. mass (Da)
1.603	5.4	‡	Oxirane, ethyl-	72.06
2.081	3.4	*†	Heptane, 2-methyl-§	114.14
2.666	14.1	*†	Octane§	114.14
3.138	15.5	*†	1-Octene§	112.13
4.598	24.5	*	Ethanol	46.04
4.872	1.2	*	Cyclohexene, 4-methyl-	96.09
5.204	13.5	‡	Hexane, 2,4-dimethyl- (possible isomer)	114.14
5.378	10.8		Undecane, 2,6-dimethyl-	184.22
5.533	13.5	‡	Hexadecane§ (possible isomer)	226.27
5.941	10.5		Heptane, 5-ethyl-2,2,3-trimethyl- (or isomer)	170.20
6.365	8.7	†	Undecane, 4-methyl-§	170.20
6.418	5.4		Heptane, 5-ethyl-2,2,3-trimethyl- (or isomer)	170.20
6.668	6.1		Octane, 3-ethyl-2,7-dimethyl-	170.20
6.768	12.1		Decane, 2,2,6-trimethyl-	184.22
6.931	6.8	*†	Undecane§	156.19
7.112	5.4		Decane, 3,3,5-trimethyl-	184.22
7.173	6.4	*	Nonane, 3-methyl-§	142.17
7.232	7.3	*	1-Propanol, 2-methyl-	74.07
7.325	10.0		Furan, 4-methyl-2-propyl-	124.09
7.481	6.7		Undecane, 4,4,-dimethyl-	184.22

OPEN ACCESS Freely available online

PLoS GENETICS

Genomic Analysis of the Hydrocarbon-Producing, Cellulolytic, Endophytic Fungus *Ascocoryne sarcoides*

Tara A. Gianoulis[1,2,3]†, Meghan A. Griffin[4]], Daniel J. Spakowicz[4]], Brian F. Dunican[4], Cambria J. Alpha[4], Andrea Sboner[3,4], A. Michael Sismour[1,2], Chinnappa Kodira[5], Michael Egholm[6], George M. Church[1,2], Mark B. Gerstein[3,4]*, Scott A. Strobel[4]*

Et celle de méthane!

Fungi discovered to be source of methane

September 6, 2012

Methane producers in the underbrush: new research shows that fungi can also produce methane. Credit: Katharina Lenhart

Fungi	Substrate	CH_4:CO_2-ratio [p.p.b.v.: %]	
		Mean	s.d.
Pleurotus sapidus	Grass	1.7	0.1
	^{13}C Glucose	22.8	16.6
Pycnoporus sanguineus	^{13}C Glucose	11.1	0.84
Laetiporus sulphureus	^{13}C Glucose Grass	22.2 0.8	17.6 0.1
Trametes versicolor	Grass	1.3	0.4
Hypholoma fasciculare	Grass	1.02	0.2
Lentinula edodes	Grass	0.9	0.2

ARTICLE

Received 16 Mar 2012 | Accepted 2 Aug 2012 | Published 4 Sep 2012

DOI: 10.1038/ncomms2049

Evidence for methane production by saprotrophic fungi

Katharina Lenhart[1], Michael Bunge[2], Stefan Ratering[2], Thomas R. Neu[3], Ina Schüttmann[4], Markus Greule[1], Claudia Kammann[5], Sylvia Schnell[2], Christoph Müller[5,6], Holger Zorn[4] & Frank Keppler[1]

En conclusion

- Les microbes eucaryotes ont des interactions multiples avec nos sociétés, le plus souvent sans que nous le réalisions (par exemple pour la production de nos aliments)

- Le réchauffement climatique va multiplier les problèmes de santé liés aux eucaryotes parasites). Il en est de même pour les infections fongiques pour de multiples raisons (immunosuppression, habitat…)

- L'industrie utilise beaucoup les microbes eucaryotes (levures, algues, champignons filamenteux), or il y a peu de spécialistes…

- Les recherches fondamentales et appliquées utilisant les eucaryotes sont donc promises à un bel avenir…