



SOMMAIRE

Editorial	2
1. Actualité : IESF CA à la conférence de l'UPSTI.....	3
2. Et au bout du compte... les Universités auront la peau des CPGE	3
3. IESF-CA était présent, le jeudi 16 juin 2022, à Valderoure.....	5
4. Visite Base EALAT par les IESF CA le 16 mai 2022	6
4.1 Préambule.....	6
4.2 Présentation base école	6
4.3 Visites – Programme	7
4.4 Chiffres à retenir	7
4.5 Programme et équipements à venir	7
4.6 Programmation	8
4.7 Appareils.....	8
5. Les extrêmophiles : mécanismes de biodiversité et applications biotechnologiques.....	10
5.1 Introduction	11
5.2 Les domaines du vivant et les extrêmophiles	12
5.2.1 Rappels sur les domaines du vivant.....	12
5.2.2 Les environnements des extrêmophiles	13
5.2.3 Une catégorisation des extrêmophiles.....	14
5.2.4 Classification des extrêmophiles selon les valeurs des paramètres physico-chimiques.....	16
5.2.5 Quelques informations sur les virus extrêmophiles	20
5.3 Applications biotechnologiques des extrêmophiles	23
5.3.1 Quelques rappels	23
5.3.2 Dans les secteurs de la médecine, de la pharmacie, de la biorobotique	24
5.3.3 Dans le secteur numérique	26
5.3.4 La bioremédiation.....	27
5.3.5 L'exobiologie	27
5.4 Conclusion et perspectives.....	29
6. Jeu mathématique : Solutions du bulletin N°2 de 2022	32
7. Jeu mathématique :	32
8. Sudoku	33
9. Sur votre Agenda	34
10. Cotisations 2022	34

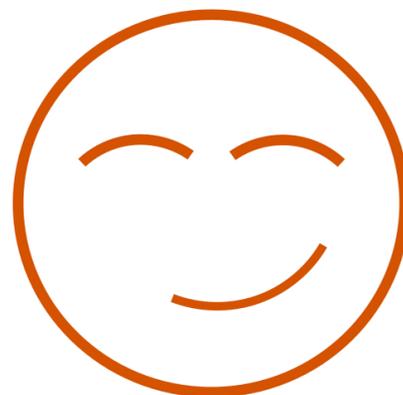
EDITORIAL

Tout d'abord un sentiment un peu embarrassé au moment d'écrire cet édito : on ne peut pas dire que la vie associative aura existé dans les débats qui viennent d'agrémenter notre quotidien des mois passés... Et pourtant, c'est l'une de nos raisons d'être, ici, comme dans les multiples associations qui font la richesse des animations locales ! Positons, on n'en parle pas, parce qu'elles marchent bien ?

Un autre sentiment d'inquiétude : les étudiants ingénieurs qui veulent imposer leur radicalité écologique aux grandes écoles. On les appelle des « bifurqueurs ». Bien. Qu'ils refusent le « formatage » professionnel actuel, qu'ils veulent « un changement systémique », qu'ils aient des convictions. Soit. Qu'ils dénoncent les industries « climaticides », soit. Mais que proposent-ils ? A vrai dire, je n'ai pas trouvé grand-chose, hormis le discours militant, ou l'installation dans des lieux naturels pour vivre une expérience collective et vivrière par exemple. Si l'on se met à l'écart de la société, comment construire des solutions ? Les sciences d'après eux, ne sont plus à la hauteur des enjeux. Il est vrai que le système actuel produit plus souvent des connaissances ciblées, fragmentaires et souvent déconnectées des besoins réels de la société. Mais proposer que les jeunes mathématiciens par exemple, s'engagent à produire des modèles mathématiques pour la prévision des sécheresses à venir (voir le site de l'ENS « Efficences »), cela me paraît un peu court, car déjà largement développé depuis pas mal de temps dans nos organismes de recherche. Ils jugent les écoles « inaptes à délivrer une formation à la hauteur des enjeux sociaux et environnementaux ». Mais quand on voit que 60% des jeunes diplômés se tournent vers le conseil, les banques et la finance, je me dis que PMIS a peut-être raté sa cible... Face à l'avertissement de ces jeunes, avons-nous un rôle à jouer ?

Encore un sentiment d'inquiétude : faut-il aller à marche forcée vers l'intégration des grandes écoles dans l'Université ? Vers l'intégration des CPGE dans l'Université ? La réponse est complexe. J'expose mon point de vue dans un article spécifique de ce bulletin, qui fait suite à celui sur l'intégration de la CTI dans le Hcéres, et en constatant que la question suscite d'ardentes prises de positions : Cf. par ex. Jacques Fayolle, président de la CDEFI- conférence des directeurs de GE, dans de multiples articles.

Terminons par une note d'optimisme, notre **Congrès des Régions IESF a lieu à Grasse, du 13 au 16 octobre 2022**. Je souhaite qu'il soit un beau succès. Nous avons un remarquable programme, tant pour le congrès lui-même, que pour les festivités annexes, que pour celui des accompagnants.



Je remercie ici tout particulièrement Michel Coureau, notre past-président des régions, qui m'a bien initié dans les arcanes de celles-ci, Philippe Delavier, notre nouveau président, qui me fait confiance, et Jacques Berbey, nouveau Délégué Inter-Régional Sud-Est, qui m'a aidé pour certains aspects matériels...

Bonne lecture

Jean-Pierre Rozelot
Président d'IESF-CA

1. ACTUALITÉ : IESF CA À LA CONFÉRENCE DE L'UPSTI

IESF-CA était présent à la conférence annuelle de l'UPSTI les 12 et 13 mai 2022 au Lycée Masséna à Nice. L'UPSTI est l'Union des Professeurs de Sciences et Techniques Industrielles exerçant en CPGE, regroupant environ 700 professeurs des Sciences de l'Ingénieur & de l'Informatique. Le Congrès annuel a lieu alternativement à Paris et en province, cette année donc à Nice

L'occasion de présenter IESF, par Marc Rumeau, Président, et les actions PMIS par Jean-Louis Droulin.



De gauche à droite : Sébastien Gergadier (Président de l'UPSTI, Professeur de Sciences de l'Ingénieur en CPGE - Lycée Chaptal à Paris), Marc Rumeau (Président IESF), Jean-Pierre Rozelot (Président IESF-CA) et Jean-Louis Droulin (past-president IESF-CA).



Présentation des actions PMIS (et plus spécifiquement « Ingénieur demain ! ») par Jean-Louis Droulin le 12 mai 2022.

2. ET AU BOUT DU COMPTE... LES UNIVERSITÉS AURONT LA PEAU DES CPGE

C'est un débat politique franco-français déjà très ancien et qui se résume très simplement.

Les classes préparatoires aux grandes écoles (CPGE) sont considérées comme une « épine dans le pied » des universités, car elles drainent les bons éléments au sortir du bac, dans des instances relativement peu nombreuses et bien encadrées. Ce faisant, et à contrario, les universités sont à la peine en première année, car confrontées à des amphithéâtres parfois pléthoriques, doivent souvent faire des remises à niveau, et ne peuvent drastiquement sanctionner au niveau des examens, au risque de se faire mal voir. En outre, les CPGE constituent une de ces exceptions françaises dont nous tirons certes une certaine originalité mais qui déconcertent les étrangers. Aussi la

suppression des CPGE est une idée ancienne, qui permettrait, en les noyant dans l'université, de tout à la fois redorer l'image de cette dernière et de rendre le système visible puisque identique à ce qui fait dans les autres pays. Idée que C. Allègre, Ministre de l'Éducation Nationale, de la Recherche et de la Technologie (1997-2000) a voulu mettre en pratique de manière tranchée, mais s'est heurté à une fronde des CPGE. Depuis, le débat, politique, syndical, universitaire, médiatique... n'a cessé de s'auto-alimenter avec des controverses diverses. Pour faire bref, les partisans des CPGE vantent la diversité des filières, le dynamisme et la qualité des enseignements, lesquels au final permet un recrutement de qualité dans les écoles d'ingénieurs. Les « contre » nient les conditions d'évaluation des élèves, par concours (ou par dossier interne pour les prépas intégrées), au motif que si ce mode de recrutement est a priori plus objectif, il échoue à compenser entièrement les biais liés à l'origine sociale.

La gouvernance du ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (MSERI, de mai 2017 à mai 2022, n'anticipons pas la politique du nouveau ministère qui a vu son « I » tomber), a été entièrement dévouée à la cause des universités (même si certains universitaires n'étaient pas dévoués à la cause ministérielle... !), et a été farouchement opposée à l'autonomie des grandes écoles, notamment en réussissant en acte ultime à faire passer le décret de passage de la CTI sous le contrôle du Hcéres. Il a favorisé l'émergence de nouvelles structures, les Cycles Pluridisciplinaires d'Études Supérieures (CPES) – peut-être même sous une impulsion locale. Ces CPES existaient déjà notamment dans les écoles militaires. La nouveauté est que ce **cycle universitaire** est une formation généraliste et pluridisciplinaire, **diplômante**. Il offre une ouverture culturelle, une pédagogie par projets et une initiation à la recherche. Il s'agit d'un cursus en 3 ans fondé sur un principe de spécialisation progressive, un enseignement en petits groupes, en partenariat avec un lycée qui propose déjà des CPGE...

Il y a à peine deux ans, une seule formation CPES apparaissait, celle liant Paris Sciences et Lettres (PSL) et le lycée Henri IV. Pour la rentrée 2022, vingt-trois CPES ont été proposés sur ParcoursSup (Bordeaux, Caen, Rennes, le Mans...). Celui de l'Université de la Côte d'Azur (UCA) propose « *une spécialisation progressive mêlant les expertises et compétences interdisciplinaires de l'Université et des classes préparatoires* ». Elle est portée, outre l'UCA, par l'Institut Stanislas (Cannes) et le lycée Masséna (Nice). Les étudiants choisissent, soit le parcours Humanités, lettres et sociétés co-produit par l'Université et l'Institut Stanislas, soit le parcours Sciences et sociétés co-produit par l'Université et le lycée Masséna.

Après une croissance régulière de 1980 à 2013, le nombre d'étudiants en CPGE a stagné de 2014 à 2019 (42 900 en 1980, 93 500 en 2013, plafond aux alentours de 85 100 ensuite)¹. Les effectifs des CPGE montrent à l'évidence une chute réelle : 86 478 en 2018 et 83 400 en 2021. La rentrée 2022 n'incite pas à l'optimisme : une baisse de 1,8% du nombre d'inscrits sur les deux ans et de 2,5% en première année² ! Dans le même temps (2018-2020), les effectifs d'étudiants à l'université croissaient de 1 614 900 à 1 635 400. Faute d'élèves en nombre suffisant, des lycées (Lycée Rodin à Paris, Monzagon à Angers par exemple) vont fermer des classes prépas. Les causes de désaffection sont connues, notamment celles liées au choix de l'option en dernière année de Lycée, excluant quasiment les mathématiques, auxquelles s'ajoute la réputation des CPGE face à la sévérité, la difficulté, le trop de stress, l'incertitude du concours.... En regard, l'attrait de la nouveauté (un critère majeur chez les jeunes) et surtout l'aspect diplômant (même si le CPES se fait en trois ans au lieu de 2 en CPGE), font que les CPES ont le vent en poupe. Le ministère a de plus mis une condition pour l'accueil des élèves en première année : 40% doivent répondre aux critères des bourses de l'enseignement supérieur. Les CPES misent sur la plus-value apportée par l'université, par rapport à une CPGE : l'initiation à la recherche, les stages en entreprises, la vie universitaire plus « cool » et surtout le grade de licencié à l'issue du CPES qui permet, soit d'intégrer une grande école, soit de poursuivre en master.



On l'aura compris, le Ministère offre un boulevard aux Universités vertueuses qui mettent en place ces formations, qui cassent sans le dire les CPGE, qui en prend le meilleur et construit un monde nouveau. Pourquoi pas ? La concertation avec les ingénieurs ayant été « évacuée » (même à l'UCA), et le modèle CPES ayant de grandes chances d'être dupliqué dans toutes les universités dans un très proche avenir (ce que je trouve personnellement pas mal- et à condition qu'il y ait davantage de débats constructifs), on pourra toujours dire que l'université avait raison, ce dont elle ne doute pas !

J.P. Rozelot

Président IESF-CA

L'opinion donnée dans cet article reflète les vues de l'auteur et non pas celle de la société IESF dans son ensemble.

¹ <https://fr.statista.com/statistiques/499715/effectifs-d-etudiants-en-prepa-en-france/>

² <https://www.ih2ef.gouv.fr/effectifs-etudiants-en-classes-preparatoires-aux-grandes-ecoles-en-2021-2022>

et <https://fr.statista.com/statistiques/499705/effectifs-d-etudiants-inscrits-aux-universites-france/>

3. IESF-CA ÉTAIT PRÉSENT, LE JEUDI 16 JUIN 2022, À VALDEROURE



Sympathique et intéressant séminaire du solstice d'été à Valderoure organisé par le Conseil de développement de la Communauté d'agglomération du Pays de Grasse. Les membres de l'IESF ont été accueillis par un café au sein des magnifiques paysages du haut pays Grassois. C'est dans la salle Polyvalente intercommunale inaugurée il y a près d'un an que JP Rozelot et Bernard Roux (maire de Valderoure) ont introduit et contextualisé la stratégie mise en place pour un développement innovant sur le pays de Grasse. « Rassemblement des énergies autour d'un savoir-faire ancestral concernant la chaîne de fabrication des parfums pour asseoir et élargir des industries novatrices se basant sur le développement durable ».

La pépinière INNOVAGRASSE a vu le jour en 2010, elle aide à la création d'entreprises en permettant un accès à un écosystème et à des laboratoires. Frédéric Monet, directeur de l'Hôtel d'entreprise GRASSE BIOTECH, a explicité le rôle de cette structure créée en 2018 qui étend la phase de création des nouvelles entreprises jusqu'à la mise sur le marché et pérennise le développement d'entreprises innovantes. L'hôtel permet l'accès à des salles de réunion, des bureaux, des laboratoires et également aux infra-structures indispensables aux activités scientifiques liées à la cosmétique, la science du vivant et la biotechnologie. Le but final de ces structures est la création d'un environnement permettant, grâce aux conseils, aux financements et à l'environnement d'être un accélérateur pour le fonctionnement et les résultats des entreprises. C'est également une ouverture pour l'installation d'entreprises sur le territoire grassois et dans la région. Loïc Loffredo, directeur technique de « BOTANICERT » créé en 2011 et localisé à Grasse Biotech, a présenté son expertise sur les plantes, leurs extraits, les analyses, les dosages, les identifications, et la certification. Franck Chuzel, président de « LIFESCIENTIS » créé en 2011, a mis en évidence son savoir-faire sur l'encapsulation de principes actifs pour l'industrie pharmaceutique, cosmétique ... Le but est de favoriser l'éco-conception, le respect de l'environnement et de proposer des solutions durables tout en conservant l'efficacité des produits.

Après chaque intervention, les questions furent nombreuses et les discussions fort intéressantes.

Le buffet réalisé à partir des produits du terroir nous a permis de nous régaler avec entre autres des spécialités régionales.

Françoise Guileri

4. VISITE BASE EALAT PAR LES IESF CA LE 16 MAI 2022



4.1 PRÉAMBULE

Le 16 mai 2022 à partir de 09h00, 11 membres des IESF CA se sont rendus sur la base école de l'EALAT au Luc.

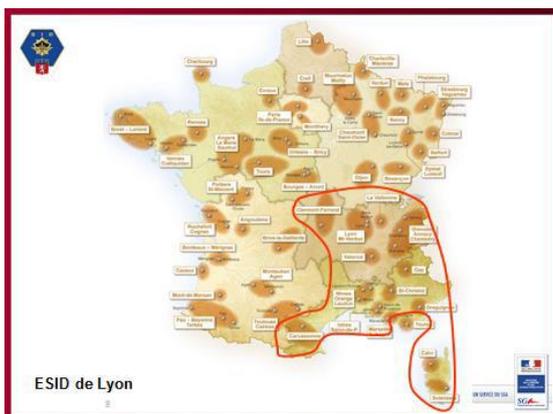
L'organisation de la visite a été effectuée par B. LEICEAGA, membre IESF mais également Lieutenant-Colonel réserviste citoyen, agréé auprès de l'ESID Lyon (Etablissement service d'infrastructure de la Défense). Il est intervenu sur la base comme expert pour gérer les problèmes de sinistres constructions (Dommages Ouvrage et divers).

Sur place le représentant de l'USID Draguignan (Unité service infrastructure de la défense basée à Draguignan) **M. Clouchoux Eric** (Ingénieur chargé d'affaire – Infrastructure aéronautique) nous a accueillis.

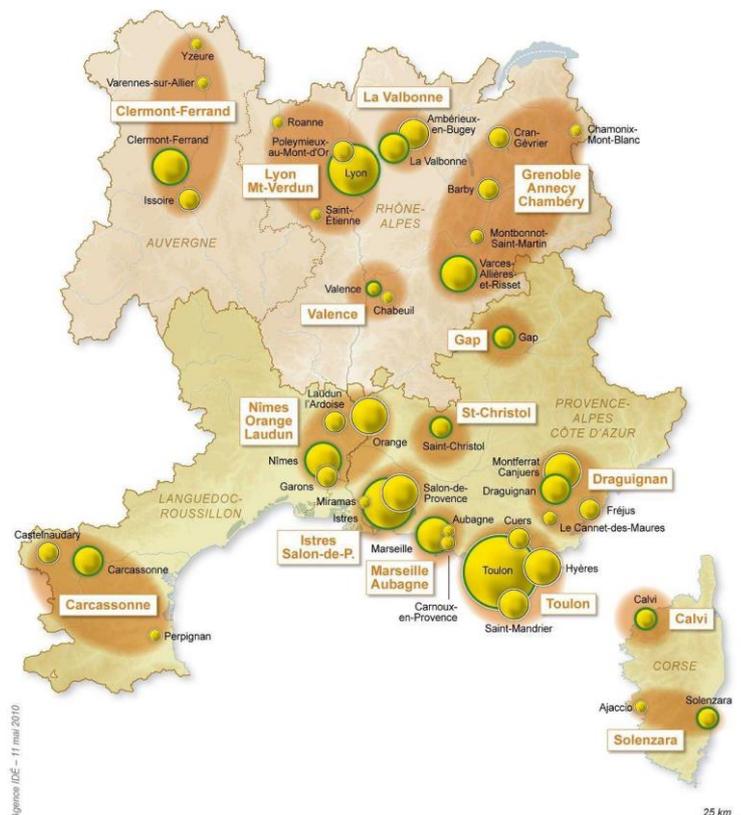
Il avait préparé cette visite avec minutie après avoir reçu l'aval du commandant en second de la base, le **Lieutenant-Colonel Attalin Eric**.

Grace à **M. Clouchoux**, toutes ces démarches administratives nous ont permis d'accéder rapidement à la base après avoir passé tous les contrôles de sécurité obligatoires.

4.2 PRÉSENTATION BASE ÉCOLE



Emprise Régionale pour l'ESID Lyon
Avec couverture des diverses USID locales



4.3 VISITES – PROGRAMME

- **8h45/9h15 : Accueil** à l'entrée de la base
- **9h15-10h30 : Accueil « café »** (hall bât 325) et présentation des activités de la base dans la salle du RDC Bât 325
Accueil par **M. Clouchoux** et le **Commandant Nathalie Maignan**

La base école général LEJAY de l'EALAT est implantée dans une cuvette de 182 Ha dans le centre Var.

1957 : école d'application de l'aviation légère de l'armée de terre créée à Sidi Bel Abbès (Algérie)

Mars 1963 : l'école s'installe sur le terrain de Le Luc/Le Cannet des Maures

Cette base EALAT comprend 5 centres :

- Base école de DAX + le centre en vol en montagne (PO- Ste Léocadie)
- Base école 2e Régiment D'hélicoptères De Combat Le Cannet des Maures
- L'Ecole Franco-Allemande de formation des équipages Tigre (EFA Tigre)
- Le Centre de Formation InterArmées NH90 (CFIA NH90) Le Cannet des Maures
- Le Centre de formation Franco-Allemand pour le Personnel Technico-Logistique TIGRE (CFA PTL TIGRE) (Français) à Fassberg

Ces 5 centres représentent : 1250 permanents, 400 stagiaires/jour, 89 hélicoptères, 40 simulateurs, 31000 heures de vols.

- 1200 à 1300 personnes (150 à 200 allemands) dont 200 civils
- Des industriels comme THALES, SOGITEC, AIRBUS (ex Eurocopter)
- **10h30-11h00 SIM** (bât simulation 016) Présentation d'EDITH (Entraîneur Didactique Interactif Tactique Hélicoptère) –Vu avec le **Lieutenant-Colonel Guillot**;
Notre Président Jean Pierre s'est mis aux commandes pour un voyage sans encombre (à Kaboul !)
- **11h05 – 11h40 - Visite simulateur NH 90**
- **11h40 - 12h00 - Visite hangar NH90** - avec le **Capitaine Poulleau** : présentation du Caïman.
- **12h00 -12h30 : Visite de la Tour de Contrôle (TWR)** avec le **Capitaine Plante** (vue du site depuis la terrasse vigie).

- **13h00 – Repas en commun**



4.4 CHIFFRES À RETENIR

82 aéronefs sur la base (13 Puma-27 Gazelle-18 Fenec-5 NH90-17 Tigre-2 BO 105) : nombre fluctuant.

Cout des Hélicoptères sans équipement spécifique

- TIGRE 25M€
- COUGAR 10M€
- PUMA 6.5M€
- GAZELLE 1M€

Le TIGRE en vol



4.5 PROGRAMME ET ÉQUIPEMENTS À VENIR

- Les **Missions de l'ESID** portent sur :
 - Soutien de l'infrastructure et du domaine immobilier du ministère de la Défense sur le sol métropolitain, outre-mer et à l'étranger
 - Soutien aux forces en opérations
 - Gestion des crédits infrastructures

- Assistance au commandement
- **4 domaines d'action**
 - Construction
 - Maintenance
 - Gestion domaniale
 - Energie
- **Partie aéronautique**
 - Dégagement des espaces verts
 - Entretien du balisage nocturne
 - Entretien des chaussées (pistes, taxiways, parkings aéronefs)
 - Entretien des bâtiments aéroportuaires

Les antennes USID, s'occupent de manager les entreprises de maintenance (Electricité, Intrusion/incendie, Portes et portails, Chauffage, Climatatisation/ventilation, travaux de génie-civil, réseau AEP) et des travaux mineurs de mises aux normes, réparations, remplacement d'éléments techniques comme groupes clim, ballons d'eau chaude, réseaux...

Les travaux neufs et lourds : PCO (pôle conduite opérations), PMO (pôle maîtrise d'œuvre), Section technique : services basés à Draguignan (USID Draguignan). La base va évoluer par des travaux neufs importants avec l'arrivée en 2026/2028 du « Guépard » hélicoptère interarmées.

4.6 PROGRAMMATION

- 2022 : rénovation du bât SSIS (pompiers) (1M€-11 mois de travaux)- démarrage en janvier 2022 ;
- 2023-24 : création de 2 BCC (Bâtiment Cadre Célibataire = 2x50 logements militaires) (11,5 M€) ;
- 2024 : rénovation du hangar « Gazelle » (accueil pour 4 « Guépard » 4,3 M€) ;
- 2024 : rénovation du parking « Gazelle » (2 M€) ;
- 2024/2025 : rénovation de 2 BCC existants (7 M€) ;
- 2025 : rénovation du parking « Puma » (2 M€) ;
- 2025-26 : création du hangar « Guépard » (à la place des 3 hangars hélicoptères situés à l'Est) ; les études sont en cours ;
- Projet de rénovation des 2 pistes d'envol (années non déterminées).

4.7 APPAREILS

Gazelle, Alouette, Dauphin, Fennec et Panther... Les hélicoptères militaires ont toujours porté le nom d'animaux. Et le futur modèle de combat de l'armée française ne dérogera pas à cette tradition, ce sera le Guépard.



Le Guépard



Fennec



Hercule



Gazelle



Puma



Caïman ou NH 90

Voilà la visite s'est terminée autour d'un repas convivial en présence de notre hôte **M. Clouchoux Eric**, aux **Portes de Provence** – 220 Route Nationale 7, 83340 Le Cannet des Maures.

Le regard restera éclairé de ces beaux oiseaux et de toutes ces personnes qui les entretiennent avec amour.

Bernard LEICEAGA

5. LES EXTRÊMOPHILES : MÉCANISMES DE BIODIVERSITÉ ET APPLICATIONS BIOTECHNOLOGIQUES

Extremophiles: biodiversity mechanisms and biotechnological applications

Résumé

Des micro-organismes et organismes vivent et se développent dans des environnements extrêmes aux conditions de vie réputées mortelles : sources chaudes sulfureuses, cheminées hydrothermales sous-marines, glaces de l'Antarctique ou de l'Arctique, déserts brûlants, eaux acides bouillonnantes, gisements pétroliers, profondeurs terrestres ou océaniques, etc. Ils sont qualifiés d'extrémophiles pour leur métabolisme et leur stratégie d'adaptation exceptionnels. Ils sont présents dans les trois domaines du vivant et chez les virus. Parmi leurs constituants, on peut citer les extrémozymes qui intéressent de nombreux laboratoires et industriels dans le monde. Depuis plusieurs décennies, les scientifiques étudient les mécanismes de cette biodiversité en vue d'applications dans les secteurs biomédical, pharmaceutique, industriel, environnemental, agro-alimentaire, de la bioénergie, etc. Ces recherches contribuent à une meilleure compréhension de la vie sur Terre, sur les planètes voisines et les exoplanètes. L'article, non exhaustif, présente la variété des extrémophiles, les mécanismes de résistance. Il expose des exemples d'applications biotechnologiques dans le contexte des points de vue écologique, sociétal, économique et politique. Les images ou figures présentées sont la propriété de leurs auteurs cités. Le contenu de l'article est fondé sur l'ensemble des références citées.

Mots-clés

Extrémophile, eucaryote, archée, bactérie, virus, extrémozyme, enzyme, thermophile, halophile, psychrophile, piézophile, acidophile, alcalophile, xérophile, biologie moléculaire, biologie cellulaire, biodiversité, biophysique, biochimie, génomique, métagénomique, stratégies de survie, structure macromoléculaire, métabolisme, microbiologie, physiologie, phylogénie, taxonomie, écologie, environnement, bioremédiation, évolution, astrobiologie, microbiologie spatiale, exobiologie.

Abstract

Micro-organisms and organisms live and develop in extreme environments with life-threatening conditions: sulphurous hot springs, underwater hydrothermal vents, Antarctic or Arctic ice, burning deserts, boiling acidic waters, oil fields, terrestrial or oceanic depths, etc. They are qualified as extremophiles for their exceptional metabolism and adaptation strategy. They are present in the three domains of life and in viruses. Among their constituents, we can mention the extremoenzymes which interest many laboratories and industries in the world. For several decades, scientists have been studying the mechanisms of this biodiversity with a view to applications in the biomedical, pharmaceutical, industrial, environmental, agri-food and bioenergy sectors. This research contributes to a better understanding of life on Earth, on neighboring planets and exoplanets. The article, which is not exhaustive, presents the variety of extremophiles and the mechanisms of resistance. It presents examples of biotechnological applications in the context of ecological, societal, economic and political points of view. The images or figures presented are the property of their cited authors. The content of the article is based on all the references cited.

Keywords

Extremophile, eukaryote, archaea, bacterium, virus, extremoenzyme, enzyme, thermophile, halophile, psychrophile, piezophile, acidophile, alkalophile, xerophile, molecular biology, cell biology, biodiversity, biophysics, biochemistry, genomics, metagenomics, survival strategies, macromolecular structure, metabolism, microbiology, physiology, phylogeny, taxonomy, ecology, environment, bioremediation, evolution, astrobiology, space microbiology, exobiology.

5.1 INTRODUCTION

Sur Terre, tous les organismes vivants sont le résultat d'une évolution complexe il y a un peu plus de 3 milliards d'années. Chaque espèce vit dans un espace bien défini, appelé biotope, qui peut être de quelques millimètres cubes (cas des bactéries) ou de la taille d'un océan (grand mammifère marin, par exemple). Ce biotope lui fournit les ressources indispensables à son développement (eau, sources de carbone organique ou inorganique, sources d'énergie) associant aussi des éléments d'origine minérale, le dioxyde de carbone, etc. L'évolution est conditionnée par de nombreux paramètres biotiques (proies, prédateurs, etc.) et abiotiques (température, pression, acidité, alcalinité, salinité ou dessiccation, manque d'oxygène, lumière, rayonnements divers, présence de solvants organiques, de métaux lourds, de substances normalement toxiques, etc.).

Chaque organisme vivant est caractérisé par des limites physiques et chimiques (valeurs minimale et maximale des paramètres) qui lui assurent son cycle vital. Certaines de ces limites atteignent des valeurs dites extrêmes au-delà desquelles aucune vie ne serait possible : c'est à leur voisinage que vivent les organismes appelés extrémophiles. Cependant certaines limites ne sont toujours pas déterminées et les recherches se poursuivent, par exemple, pour les micro-organismes provenant des sédiments profonds du plancher océanique et pour les limites de la vie sous forte pression. Les résultats des travaux conduisent à réviser les hypothèses de vie sur d'autres planètes.

Ainsi, il y a un peu plus de cinquante ans, des pionniers découvrirent de nouvelles espèces de micro-organismes dans des milieux supposés dépourvus de vie, comme Thomas Dale Brock (1926-2021), microbiologiste américain qui a réussi à isoler un hyperthermophile vivant dans les sources chaudes du parc national de Yellowstone, *Thermus aquaticus* se développant à des températures de l'ordre de 70°C. Cela inaugura l'ère moderne de la biologie moléculaire en formant la base de la réaction en chaîne par polymérase (PCR). Des chercheurs japonais, allemands, exploreront des milieux extrêmes de notre planète et démontreront l'existence d'autres types d'extrémophiles. Aujourd'hui ces micro-organismes sont un domaine de recherche en biotechnologie en plein essor (augmentation très nette des brevets et des publications scientifiques) au niveau mondial. De nombreux projets internationaux sont menés avec la participation de nombreux pays européens (Allemagne, Danemark, Espagne, France, Italie, Norvège, Pologne, République tchèque, Royaume-Uni, etc.). Mais d'autres puissances investissent aussi dans ce type de recherches comme la Russie, les Etats-Unis, le Mexique, l'Inde, la Chine, la Corée du Sud, le Japon, l'Arabie saoudite, l'Egypte, l'Australie, etc.

Un grand nombre de composés bioactifs (antibiotiques, enzymes, protéines, pigments, etc.) sont extraits d'organismes extrémophiles et présentent un grand intérêt dans plusieurs domaines : médecine, industrie, agriculture, agro-alimentaire, environnement, bioénergie, etc. en raison de leurs applications variées. Parmi celles-ci, on peut citer la décontamination des milieux extrêmes (bioremédiation), le traitement des lixiviats des milieux miniers (biolixiviation lors de l'extraction des terres rares), la dépollution des aquifères ou des sites radioactifs, PCR, etc. Ces nouveaux procédés biotechnologiques génèrent beaucoup moins de pollution que les traitements plus classiques.

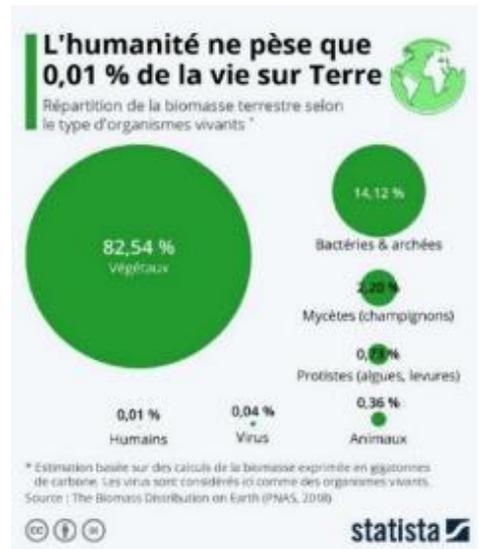
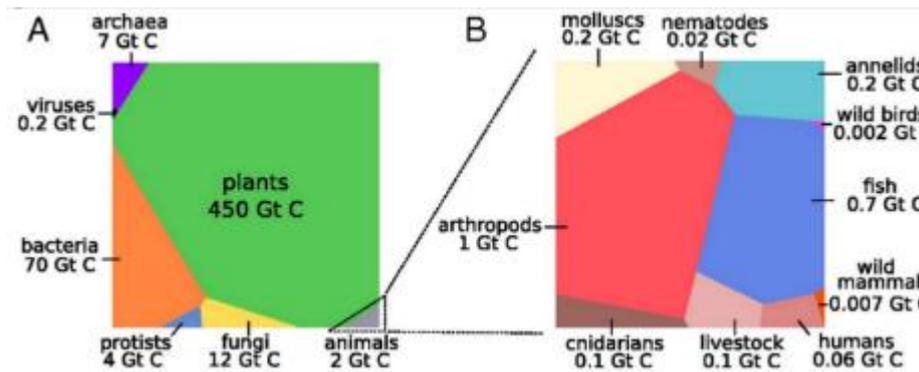
Les enjeux financiers liés à la production de ces enzymes et composés organiques issus d'organismes extrémophiles sont considérables. Les travaux de recherche actuels et futurs et les applications industrielles innovantes devront se réaliser en considérant les aspects écologiques, sociétaux, économiques et politiques, dans un cadre éthique.

Cet article, non exhaustif, a pour objectif de présenter les caractéristiques des extrémophiles, leurs habitats, leurs mécanismes d'adaptation, etc. Des exemples d'applications biotechnologiques sont exposés. Les images ou figures présentées sont la propriété de leurs auteurs cités. Le contenu de l'article est fondé sur l'ensemble des références citées.

5.2 LES DOMAINES DU VIVANT ET LES EXTRÊMOPHILES

5.2.1 RAPPELS SUR LES DOMAINES DU VIVANT

En étudiant la [répartition](#) de la biomasse de la biosphère, il a été estimé un total de 550 milliards de tonnes (550 Gt) de carbone.



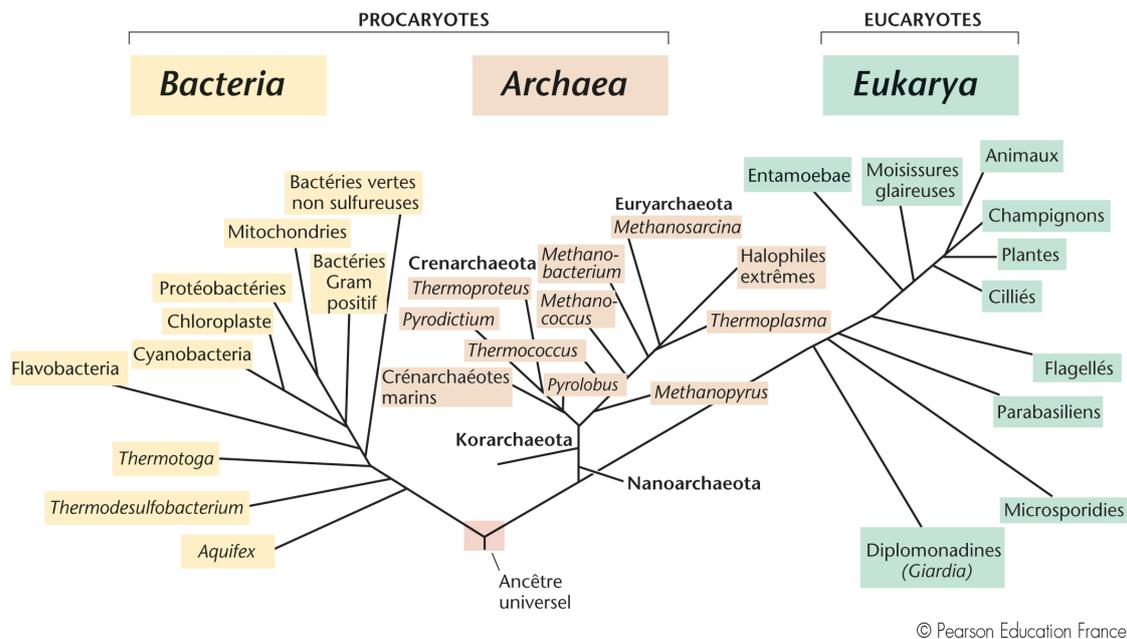
Diagrammes de Voronoï de la biomasse planétaire.

A) Biomasse des principaux taxons du monde vivant ;

B) Biomasse des taxons animaux.

Le monde végétal est celui qui pèse le plus (près de 83 %), les bactéries (et archéobactéries) représentent une part d'environ 14%, puis les mycètes (champignons) avec 2,2 %. L'ensemble des animaux ne représente qu'une toute petite part du vivant (environ 0,37 %) en incluant les 7,7 milliards d'êtres humains lesquels ne pèsent que 0,01 à 0,02% de la biomasse soit la moitié des virus.

Source: Yinon M. Bar-On, Rob Phillips, Ron Milo, [The biomass distribution on Earth](#). Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS), June 19, vol.115, n°25, 2018, p.6506-6511.



© Pearson Education France

Les animaux et les plantes sont dans le domaine des eucaryotes (organismes dont les cellules possèdent un noyau). Les bactéries et les archées (organismes unicellulaires morphologiquement similaires aux bactéries) ont leur matériel génétique libre dans le cytoplasme et non pas stocké dans le noyau : ce sont des procaryotes, organismes unicellulaires se trouvant dans la majorité de l'environnement terrestre. Les extrémophiles existent dans les trois domaines du vivant (*Bacteria*, *Archaea* et *Eukarya*) ainsi que chez les virus. La définition d'extrémophile peut s'étendre aux formes eucaryotes pluricellulaires comme les animaux (insectes, poissons, etc.), aux plantes, aux champignons, aux levures, aux lichens (champignon associé à une algue). C'est dans le domaine des archées que les extrémophiles sont les plus nombreux et que cet article détaille plus particulièrement.

Carl Richard Woese (1928-2012), microbiologiste américain, est le plus connu pour ses travaux de phylogénie moléculaire du vivant et pour la définition du domaine *Archaea* conjointement avec George Edward Fox (1945-), bactériologiste américain, en 1977. Woese réalise ces découvertes avec l'analyse phylogénétique de la séquence de l'ARN ribosomique 16S, technique qu'il mit au point avec ses collaborateurs, encore utilisée pour classer toute nouvelle espèce bactérienne ou archée. Leurs travaux concourent à la nouvelle répartition du vivant en trois domaines. Woese proposa en 1967 l'antériorité de l'[ARN](#) sur l'[ADN](#), théorie reprise en 1986 par Walter Gilbert (1932-), biologiste, médecin, pionnier de la biologie moléculaire (*RNA world*).

5.2.2 LES ENVIRONNEMENTS DES EXTRÊMOPHILES

Les micro-organismes sont présents sur la Terre, que ce soit dans les zones polaires ou chaudes, dans le sous-sol terrestre ou marin, dans la stratosphère, etc. Par exemple, leurs habitats peuvent être les sources chaudes sulfureuses, les geysers géothermiques, les cheminées hydrothermales sous-marines, le magma volcanique, les sédiments, dans les glaces de l'Antarctique ou de l'Arctique, dans des eaux saturées en sel, des eaux très acides ou très alcalines, etc.

Le site de Dallol

Dallol est localisé dans le nord-est de l'Éthiopie, à quelques kms de la frontière avec l'Érythrée, dans la vallée du Grand Rift, dans une zone volcanique. Il est en forme de dôme de 15 km², reposant sur un lit de sel de 2 km d'épaisseur, au sein de la dépression de Danakil (une des régions les plus chaudes et les plus arides de la Terre). Il est 120 m au-dessous du niveau de la mer. Il renferme des eaux brûlantes à 120°C, saturées en sel (2 fois plus salées qu'en mer Morte) et tellement acides (hyperacides) qu'elles sortent de l'échelle de grandeur utilisée par les chimistes (pH valant -1,55 !). En 2016 un groupe composé de microbiologistes, de géologues et de cristallographes, se rendit sur place afin de collecter des échantillons (eau salée, fluides et acides hydrothermaux, croûtes, etc.) et de mesurer les paramètres physico-chimiques régnant au sein des bassins et geysers disséminés sur le site. Des archées ont été identifiées. Certaines sont adaptées au sel (halophiles) ou aux fortes températures (hyperthermophiles). *Les premières analyses d'ADN indiquent la présence de bactéries extrémophiles encore inconnues, capables de résister à l'hyper-salinité du milieu.*



© Photos / [Olivier Grunewald](#)



[Finding Life in an Inferno](#),
CNRS News, Grégory Fléchet, 18 nov. 2016

L'étang Don Juan

C'est un petit lac peu profond situé dans la vallée de Wright en Terre Victoria, en Antarctique. Il est très salé, deux fois plus que la mer Morte. Les conditions extrêmes concernant la salinité et le froid ont favorisé la formation d'un minéral très rare, l'[antarcticite](#) (chlorure de calcium hydraté). Les chercheurs ont constaté des émissions d'oxyde nitreux provenant du sol autour de cet étang. Le flux de gaz est comparable à celui de certains sols tropicaux regorgeant de micro-organismes. Un processus abiotique doit en être la source, mais aucun processus de ce type n'est connu. Selon les [travaux](#) de Samarkin et al. (2010), l'environnement de l'étang contenait des ingrédients chimiques susceptibles de participer à des réactions produisant du protoxyde d'azote : des sels de nitrate et de nitrite dans la saumure, et des sels de fer(II) dans les roches situées sur les bords de l'étang.



Mitchinson, A. [The mystery of Don Juan Pond](#).
Nature 464, 1290 (2010)

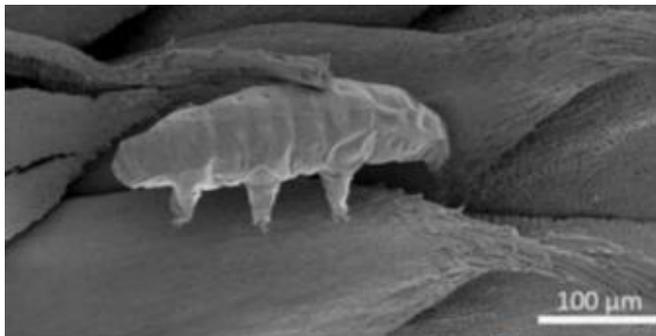
La découverte sur Mars de lignes de pente récurrentes, pouvant représenter des saumures saisonnières, a suscité un intérêt pour la recherche d'environnements analogues sur la Terre.

Selon la récente [publication](#) de Rafael R. de la Haba et al. (2022), il est précisé que les environnements extrêmes possèdent une diversité microbienne plus importante que prévue, compte tenu des conditions auxquelles les extrémophiles doivent faire face. De nombreux efforts ont été faits pour caractériser et décrire ces micro-organismes procaryotes et eucaryotes et leurs fonctions métaboliques au sein de ces habitats. L'utilisation de données génomiques d'extrémophiles cultivés et non cultivés permet aussi de déduire des relations évolutives et d'établir un système de classification robuste et précis, et un code de nomenclature formalisé, basé sur des séquences génomiques.

5.2.3 UNE CATÉGORISATION DES EXTRÊMOPHILES

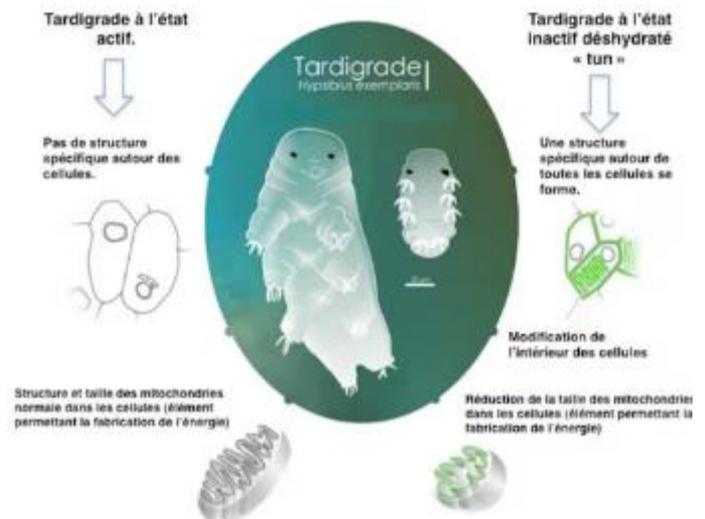
Daniel Prieur, microbiologiste, spécialisé dans la Microbiologie des environnements extrêmes au LM2E (CNRS, UBO, Ifremer) ([Biofutur](#), 2012), définissait trois catégories d'extrémophiles liées aux conditions de vie et de résistance à l'environnement de ces micro-organismes :

- **Les passifs** : le cycle de vie se déroule dans des conditions normales jusqu'au moment où la valeur d'un paramètre vital se trouve en dehors des limites convenant à l'espèce. C'est alors que l'organisme met en place une forme de résistance qui lui permet d'attendre, sans se diviser et avec un métabolisme très ralenti, un retour à des conditions plus normales. Parmi les cas existants, on a observé les spores de certaines bactéries [Gram positif](#) capables de survivre des dizaines d'années et bien davantage. Chez les eucaryotes, des phénomènes d'enkystement ou de déshydratation sont mis en œuvre : une résistance spectaculaire est générée par les tardigrades qui entrent en cryptobiose et peuvent survivre plusieurs années, déshydratés à 99%.



Macrobius macrocaulis on moss leaflets. *Microbial Ecology* (2018) 76:467–481

CNRS GigaTardi



Différences entre les états hydraté et déshydraté de l'*Hypsibius exemplaris* Laurence Meslin - ISEM, Montpellier

Il a été observé qu'un tardigrade peut rester plusieurs années dans un état latent. Sa tolérance aux très basses et hautes températures est exceptionnelle : de -253°C à 151°C. Il est aussi résistant au rayonnement X, à un environnement de vide et aux fortes pressions de l'ordre de 600 MPa, environ 6 000 atmosphères.

Source : [Simon Galas et Myriam Richaud](#) - Université de Montpellier, mars 2020

- **Les actifs** : ces extrémophiles sont capables de mettre en œuvre des mécanismes cellulaires et moléculaires leur permettant de résister à des changements importants des conditions environnementales. Par exemple, les bactéries radio-résistantes, comme la *Deinococcus radiodurans*, résistent à des doses de radiations très largement mortelles pour la majorité des organismes vivants grâce à des mécanismes complexes de réparation de leur ADN.

D'autres bactéries sont capables de résister à de très fortes concentrations en métaux lourds toxiques : elles les transforment en une autre forme chimique, les expulsent, etc. Ces bactéries n'ont pas besoin de conditions environnementales extrêmes pour leur cycle vital. Cependant il existe des eucaryotes extrémophiles actifs tels les invertébrés vivant au voisinage de sources hydrothermales océaniques, mais avec des mécanismes de résistance très complexes montrant que la vie en conditions normales leur est pratiquement impossible.

Deinococcus radiodurans est une bactérie polyextrémophile, parmi les organismes les plus radio-résistants connus au monde (appelée aussi *Conan bactérie*).

Cette bactérie est capable de résister aux UV, aux radiations ionisantes, au peroxyde d'hydrogène, au vide, à l'acide, aux températures extrêmes, au dessèchement, au froid, etc. *Rien qu'aux États-Unis, les experts en ont recensé 3 000, sur des lieux de production d'armes ou des centres de recherche nucléaire.*

D'importants travaux de recherche ont été menés entre 2015 et 2018 sur la Station spatiale internationale (ISS) dans le cadre du programme ExHAM (*Exposed Experiment Handrail Attachment Mechanism*) de la JAXA (*Japan Aerospace Exploration Agency*). Les résultats sont consultables dans [Frontiers in Microbiology](#) (août 2020). Il est suggéré que ces bactéries



Crédits : EMSL / Flickr

pourraient survivre aux conditions extrêmes d'un voyage de la Terre vers Mars. D'autres recherches estiment Crédits : EMSL / Flickr [Source : Voici l'histoire de Conan la bactérie, une des plus résistantes du monde !](#) SciencePost, Yohan Demeure, 2 juin 2021. que l'on pourrait les utiliser pour créer des périphériques de stockage très robustes. Il s'agirait donc de stocker les données dans l'ADN des bactéries et ne plus risquer de les perdre même s'il survient une catastrophe d'importance majeure.

[Source : Voici l'histoire de Conan la bactérie, une des plus résistantes du monde !](#) SciencePost, Yohan Demeure, 2 juin 2021.

- **Les obligatoires** : Ces extrémophiles ne réalisent leur cycle vital que si des paramètres vitaux atteignent les limites connues pour la vie. Ils ne peuvent vivre en dehors de conditions extrêmes. Cela concerne plus particulièrement des bactéries et des archées.

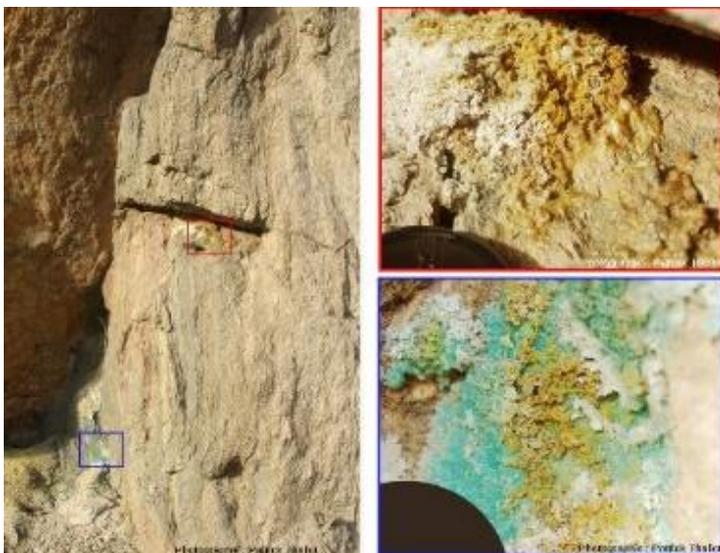


Cratère du Mont Aso (Japon)© 1981
Pierre Thomas, ENS Lyon

Le cratère du Mont Aso au Japon est rempli par un lac acide dont la couleur indique qu'il contient du soufre colloïdal et sans doute des archées et/ou des bactéries. Une tache jaune sur la paroi à gauche indique la présence d'un solfatare à cet endroit (terrain volcanique d'où se dégage, par des fissures, de la vapeur d'eau à une température de 100 à 300°, contenant de l'hydrogène sulfuré et qui donne des dépôts de soufre ; vapeurs sulfureuses de ces terrains, etc.).

Par exemple, l'archée acidophile, *Picrophilus_torresmaris*, isolée d'un solfatare japonais, fait partie des organismes les plus acidophiles connus avec un pH optimal de 0,7. Elle peut se développer à pH 0. Si le pH atteint 4, les membranes cellulaires se désagrègent ! Les milieux usuels sont situés dans les régions volcaniques, mais pas que. [Source : Michel Detay, Pierre Thomas, Les extrémophiles dans leurs environnements géologiques - Un nouveau regard sur la biodiversité et sur la vie terrestre et extraterrestre](#), Laboratoire de Géologie de Lyon / ENS de Lyon, 13 juin 2018.

Les écosystèmes associés aux sources hydrothermales, aux effluents géologiques ou à des milieux hyper-salés présentent souvent des conditions de pH extrêmes proches de 0 ou de 13. La plupart des organismes qui y vivent, sont polyextrémophiles et ont donc plusieurs paramètres physico-chimiques atteignant des valeurs extrêmes.



Détails de la paroi riche en pyrite de la carrière Saint Antoine de Saint Pierre la Palud (Rhône) © 2014 Patrick Thollot, ENS Lyon

Des micro-organismes acidophiles se développent sur cette paroi. Des sulfates solubles subsistent dans les endroits abrités de la pluie. Les cadres rouge et bleu sur le cliché de gauche sont agrandis à droite. Des amas gélatineux ou des efflorescences jaunes correspondent à des colonies de micro-organismes ou des dépôts de soufre. Les efflorescences blanches sont des sulfates indéterminés et les dépôts verts sont des colonies de micro-organismes et/ou des dépôts de sulfates de cuivre.

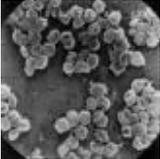
5.2.4 CLASSIFICATION DES EXTRÊMOPHILES SELON LES VALEURS DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES

Ci-après, un tableau des variétés et des caractéristiques des micro-organismes extrêmophiles (température, pression, salinité, acidité, etc.) a été réalisé. Il présente pour chaque paramètre physico-chimique, les variétés et caractéristiques, les limites atteintes en vie terrestre, les environnements terrestres observés et une ligne spécialisée proposant des sites extra-terrestres susceptibles de contenir des micro-organismes extrêmophiles.

L'étude des extrêmophiles terrestres indiquent que la présence d'eau liquide reste une condition nécessaire à la vie. Aussi sa recherche dans le système solaire et au-delà demeure donc une priorité justifiant l'intérêt porté aux océans subglaciaires des lunes glacées ainsi qu'aux saumures martiennes. De tels travaux font partie de l'exobiologie qui a pour objet la vie dans l'Univers et la recherche des limites du vivant aux habitats en environnement extraterrestre.

Ce tableau est inspiré et complété à partir de diverses sources données en fin de chapitre, en particulier : Lorenzo Carré, Giuseppe Zaccai, Xavier Delfosse, Eric Girard, Bruno Franzetti. [Relevance of earth-bound extremophiles in the search for extra-terrestrial life](#). Astrobiology, 2022, Mars, vol.22, n°3, p.322-367.

Haute température HT : Thermophiles T > 50°C / Hyperthermophiles T > 80°C	
Variétés et caractéristiques	<ul style="list-style-type: none"> • La bactérie <i>Thermus aquaticus</i>, isolée par Thomas Brock en 1967, a été essentielle dans le développement de méthodes de biologie moléculaire. Elle est très utile en recherche, dans le diagnostic et dans l'analyse génétique en médecine légale. • L'archée hyperthermophile, <i>Methanopyrus kandleri</i>, isolée à 2 000 mètres de profondeur à partir d'une cheminée hydrothermale (fumeur noir) dans le Golfe de Californie, se nourrit seulement d'hydrogène et de dioxyde de carbone pour fabriquer du méthane et assurer sa croissance (extrêmophile méthanogène). Source lfremer • Les thermophiles se nourrissent de substances inorganiques et possèdent des enzymes qui leur permettent de résister aux températures élevées
Limites atteintes en vie terrestre 	<ul style="list-style-type: none"> • Croissance observée à 122°C pour la <i>Methanopyrus kandleri</i> • Reproduction à 121°C et survie après exposition à 130°C, pour la <i>Geogemma barossii</i> Strain 121 • Les genres <i>Pyrodictium</i> et <i>Pyrolobus</i> se développent à des températures supérieures à 100°C • L'archée <i>Pyrolobus fumarii</i> est l'un des micro-organismes les plus hyperthermophiles connus. Il peut vivre et se multiplier jusqu'à 113 °C et sa croissance est impossible pour des températures inférieures à 90 °C. Il a été découvert pour la première fois en 1997 aux abords d'une cheminée hydrothermale sous-marine sur la dorsale Atlantique, sorte de geyser sous-marin, expulsant une eau à plus de 300°C, avec un pH acide de 3, à plus de 2 000 m de profondeur et une pression 200 fois supérieure à la pression atmosphérique : il est polyextrêmophile. Voir lieu de vie ci-contre à gauche.
Environnements terrestres	<ul style="list-style-type: none"> • Environnements volcaniques et écosystèmes des événements hydrothermaux profonds • Cheminées hydrothermales marines, sources chaudes et lacs volcaniques
Environnements extraterrestres	<ul style="list-style-type: none"> • Lunes glacées avec des cheminées hydrothermales potentielles
Basse température BT : Psychrophiles T < 15°C	
Variétés et caractéristiques  Eponge <i>Axinella mexicana</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Colwellia psychrerythraea</i> est une bactérie marine psychrophile connue pour sa remarquable capacité à maintenir son activité pendant une exposition à long terme à des températures extrêmes inférieures à zéro et à des salinités élevées correspondantes dans la glace de mer. • <i>Cenarchaeum symbiosum</i> est une archée psychrophile capable de survivre et de proliférer à de basses températures allant généralement de 7 à 19°C. Elle a une relation symbiotique avec certaines variétés d'espèces d'éponges, vivant généralement à des profondeurs de 10 à 20 m, généralement près de la Californie. Elle est un endosymbiote de l'éponge <i>Axinella mexicana</i>. Elle est une archée nitrifiante utilisant l'ammoniaque comme seule source d'énergie. • Les psychrophiles développent des enzymes antigel pour survivre.
Limites atteintes en vie terrestre	<ul style="list-style-type: none"> • Croissance observée de <i>Rhodotolura glutinis</i> à -18°C • Mise en évidence d'un métabolisme à -33°C pour <i>Paenisporosarcina</i> sp.B5
Environnements terrestres	<ul style="list-style-type: none"> • Océan polaire, mer profonde, intérieur des glaces, etc., avec souvent de fortes pressions et de fortes concentrations de sel • Antarctique, Arctique et régions glaciaires
Environnements extraterrestres	<ul style="list-style-type: none"> • Roches et saumures de surface et de subsurface de Mars • Lunes glacées, océans sous-glaciaires, etc.
Haute salinité HS : Halophiles S > 8,8% / Hyperhalophiles S > 14,6%	
Variétés et caractéristiques 	<ul style="list-style-type: none"> • Les halophiles prolifèrent dans les habitats où les sels (surtout du chlorure de sodium NaCl et du chlorure de magnésium MgCl₂) ont été concentrés à la limite de leur solubilité, soit plus de 10 fois la concentration dans l'eau de mer. • Les étangs salés sont des modèles pratiques pour étudier la diversité microbienne et les activités microbiennes de la salinité de l'eau de mer à la saturation en halite (salin de Bras del Port, Santa Pola, Alicante, Espagne). • Les hyperhalophiles sont des archées de la classe <i>Halobacteria</i> présentant des caractéristiques particulières comme l'accumulation intracellulaire de KCl (chlorure de potassium) et l'acidification des protéines. Ils constituent des modèles de choix en exobiologie.

Halite, Marais salants, Etang de Berre	<ul style="list-style-type: none"> Certaines souches peuvent être cultivées dans des conditions de laboratoire. La comparaison d'un génome halophile extrémophile à celui d'autres procaryotes donne un aperçu de l'adaptation microbienne aux conditions extrêmes (Aquaportail)
Limites atteintes en vie terrestre	<ul style="list-style-type: none"> Effet de saturation avec 35% NaCl <i>Halobacterium salinarum</i> est une archée halophile aérobique située dans les environnements à forte teneur en sels tels que le poisson salé et divers aliments riches en sel, les marais salants ou encore les lacs salés. Elle contient un pigment rose-rouge, la bactériorhodopsine, qui est la principale responsable des couleurs des marais salants. Elle trouve son énergie dans la dégradation des acides aminés (arginine, aspartate, etc.)
Environnements terrestres	<ul style="list-style-type: none"> Marais salants et lacs salés, saumures d'eau de mer, DHABs (<i>Deep Hypersaline Anoxic Basins</i> - bassins anoxiques hypersalins profonds soit des lacs d'eau ultra-salée et dépourvue d'oxygène situés à plus de 1 000 m sous la surface de l'océan), roches salines, salines solaires
Environnements extraterrestres	<ul style="list-style-type: none"> Saumures de Mars Océans glacés de lunes
Haute pression HP : Piézophiles P > 10 MPa / Hyperpiézophiles P > 50 MPa	
Variétés et caractéristiques  <i>Pyrococcus abyssi</i>	<ul style="list-style-type: none"> L'archée hyperthermophile et aussi piézophile, <i>Pyrococcus abyssi</i>, a été découverte à -2 000 m au niveau d'une source hydrothermale de l'océan Pacifique, avec une pression de 20 MPa et une croissance autour de 100°C Les hyperpiézophiles ont besoin de pressions élevées pour vivre. Ils se situent à des profondeurs de 5 000 m jusqu'à 10 000 m, des profondeurs associées aux fonds marins. La diversité microbienne du Bassin de Guaymas au Mexique est élevée : elle est due aux forts gradients thermiques mais également géochimiques créant ainsi des niches écologiques. Il est possible de chercher et de trouver des piézo-thermophiles dans plusieurs groupes métaboliques et phylogénétiques de bactéries. <p>Vue en microscopie électronique à balayage (0,8 à 2 µm), © 2000-2004 lremer</p>
Limites atteintes en vie terrestre	<ul style="list-style-type: none"> Croissance observée à 130 MPa <i>Thermococcus piezophilus</i> CDGS^T est une nouvelle archée hyperthermophile strictement anaérobie, désignée sous le nom de souche CDGS^T, a été isolée d'une cheminée hydrothermale en eaux profondes dans la fosse des Caïmans, à une profondeur de 4 964 m. Elle se développe de manière chimioorganohétérotrophe, sa croissance étant stimulée par des composés contenant du soufre : elle est optimale à 75 °C, pH 6.0 et sous une pression de 50 MPa. Elle possède la plus large gamme de pression hydrostatique pour la croissance jamais encore décrite pour un micro-organisme. Archimer 2016
Environnements terrestres	<ul style="list-style-type: none"> Eaux profondes, DHABs, subsurfaces océaniques et continentales Sédiments des grands fonds (> 3 000 m de profondeur) et des intestins des animaux des fonds.
Environnements extraterrestres	<ul style="list-style-type: none"> Saumures et roches profondes de Mars Abysses de lunes glacées
Faible pH : Acidophiles pH < 5 / Hyperacidophiles pH < 3	
Variétés et caractéristiques	<ul style="list-style-type: none"> Par exemple, l'archée <i>Ferroplasma acidarmanus</i> se développe dans des pH proches de 0
Limites atteintes en vie terrestre	<ul style="list-style-type: none"> Croissance à pH 0,7 : <i>Picrophilus torridus</i> est une archée thermophile et acidophile de la famille des <i>Picrophilaceae</i>. Elle est capable de se développer à pH proche de 0 et à une température atteignant 65 °C. Le cytoplasme est également acide, avec un pH d'environ 4,6 alors que la plupart des autres acidophiles ont un pH intracellulaire plus ou moins neutre. L'espèce <i>Picrophilus oshimae</i> a un optimum de croissance pour un pH de 0,7 Thermoplasma acidophilum isolée à partir d'un tas de charbon au rebut porté par auto-échauffement à une température de 59 °C à pH 2. Sa croissance est optimale autour de 56 °C et à pH 1,8.
Environnements terrestres	<ul style="list-style-type: none"> Drainage minier acide : écoulements de mines contenant de l'acide sulfurique où prolifèrent certaines archées à des pH très bas grâce, entre autres, à des pompes qui expulsent les protons hors de la cellule. Champs solfatariques, sources chaudes acido-thermiques, fumerolles, résidus de charbon Environnements très acides (pH de 1 à 4), riches en métaux et le plus souvent à des températures élevées (<i>Thermoplasmales</i>, <i>Sulfolobales</i>, <i>Ferroplasma</i>)
Environnements extraterrestres	<ul style="list-style-type: none"> Surface martienne Océan sous-glaciaire d'Europa, une lune de Jupiter
Fort pH : Alcalinophiles pH > 9 / Hyper alcalinophiles pH > 13	
Variétés et caractéristiques	<ul style="list-style-type: none"> Un organisme vivant est dit alcalophile, alcaliphile ou alcalinophile lorsque sa survie n'est possible que dans un milieu basique, avec un développement optimal situé à au moins pH 9. Il paraît alcalotolérant ou alcalophile selon les conditions environnementales (disponibilité en nutriments, les ions sodium, la température, etc.). Ainsi s'il supporte des milieux aux pH > 9 mais que son développement optimal est situé autour de 7 ou moins, on le caractérise d'alcalotolérant. De façon plus ambiguë, un organisme alcalophile peut être considéré comme extrémophile lorsqu'il vit dans un milieu fortement basique. La bactérie <i>Bacillus alcalophilus</i> en est un exemple. Alkalihalobacillus alcalophilus (anciennement <i>Bacillus alcalophilus</i>) est une espèce de bactérie à Gram positif en forme de bâtonnet. Des souches probables de cette espèce ont été isolées d'eaux usées

	<p>fortement alcalines. <i>A. alcalophilus</i> est un alcalophile obligatoire modérément halotolérant qui pousse à 40 °C et à un pH de 9 à 10,5 (et peut-être plus) et qui a été isolé du sol et du fumier animal.</p> <ul style="list-style-type: none"> Ces organismes alcalophiles intéressent l'industrie qui cherche à utiliser leurs enzymes pour des usages industriels ou de nettoyage (solutions alcalines de détergents).
Limites atteintes en vie terrestre	<ul style="list-style-type: none"> Croissance à pH 13,2 - Souches de bacilles et de <i>Clostridium</i> Cytoplasme le plus alcalin à pH 10,5 (<i>Bacillus pseudofirmus</i> OF4) <i>Alkalihalobacillus pseudofirmus</i> (anciennement <i>Bacillus pseudofirmus</i>) est une bactérie anaérobie facultative, à Gram positif, alcalophile et alcalitolérante. Trouvée, en 2019, dans une source hyperalcaline de Zambales (Philippines). Elle fait partie d'un groupe bactérien capable de biodégrader le plastique LDPE (thermoplastique fabriqué à partir du monomère éthylène).
Environnements terrestres	<ul style="list-style-type: none"> Lacs sodiques, sources chaudes alcalino-thermales, systèmes hydrothermaux, eaux usées
Environnements extraterrestres	<ul style="list-style-type: none"> Océan sous-glaciaire d'Encelade, une petite lune glacée de Saturne
Faible activité de l'eau / manque d'eau : Xérophiles croissance à aw < 0,9	
Variétés et caractéristiques	<ul style="list-style-type: none"> Un xérophile est un organisme vivant dans des milieux très pauvres en eau (conditions hydriques réduites). Il peut germer à des niveaux d'activité de l'eau compris entre 0,62 et 0,97, inférieurs à tout autre organisme connu à l'exception d' <i>Aspergillus penicillioides</i>. Il peut détériorer des aliments secs à forte teneur en sucre, en particulier le chocolat, le miel, la mélasse, les fruits secs ou le tabac. Ces organismes peuvent supporter de longues périodes sans eau. Ils sont constamment exposés au soleil : souvent des champignons, cactus, lichens et algues. Pas de véritable xérophile encore connu
Limites atteintes en vie terrestre	<ul style="list-style-type: none"> <i>Xeromyces bisporus</i>, variété décrite par LR Fraser (Lilian Ross Fraser, 1908-1987) en 1954. A une croissance observée pour une activité de 0,605
Environnements terrestres	<ul style="list-style-type: none"> Déserts, saumures
Environnements extraterrestres	<ul style="list-style-type: none"> Surface, subsurface et saumures martiennes Lunes glacées, saumures sous-glaciaires
Radiations ionisantes : Radiotolérance à des radiations (exposition de 500 Gy)	
Variétés et caractéristiques	<ul style="list-style-type: none"> Les bactéries <i>Deinococcus radiodurans</i>, <i>Deinococcus radiophilus</i> et <i>Rubrobacter radiotolerans</i> sont les plus résistantes à la radioactivité, puisqu'elles supportent des niveaux de radiation de 500 Gy. La souche RSPS-4 de <i>Rubrobacter radiotolerans</i> a été isolée du ruissellement des sources chaudes de São Pedro do Sul, au Portugal (Egas et al., 2014). La source était à la surface et avait un pH de 8,9 et une température de 50°C. <i>R. radiotolerans</i> est extrêmement résistante aux rayons UV, thermiques et gamma, encore plus que son parent <i>Rubrobacter xylanophilus</i> (Ferreira et al., 1999). Le rayonnement gamma est généralement limité aux endroits contaminés par des déchets nucléaires, car des doses élevées ne se trouvent pas naturellement dans la biosphère. Une hypothèse pour une telle caractéristique est qu'elle a évolué en réponse à des défis environnementaux tels que la dessiccation ou le stress oxydatif réactif.
Limites atteintes en vie terrestre	<ul style="list-style-type: none"> Survie après exposition à des radiations de 30k Gy <i>Thermococcus gammatolerans</i> est une archée polyextrémophile : hyperthermophile et radiotolérante à une forte radioactivité (exposée à un rayonnement ionisant, elle se répare en permanence). Elle a été découverte en 2003 dans une source hydrothermale sous-marine à environ 2 616 m de profondeur dans le golfe de Californie. Elle se développe dans une plage de températures de 55 à 95 °C, l'optimum se situant autour de 88 °C. Son pH optimal de développement est de 6 favorisant le métabolisme du soufre, réduit en sulfure d'hydrogène par l'archée. <p>Edmond Jolivet, Stéphane L'Haridon, Erwan Corre, Patrick Forterre et Daniel Prieur, « Thermococcus gammatolerans sp. nov., a hyperthermophilic archaeon from a deep-sea hydrothermal vent that resists ionizing radiation », International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, vol. 53, n° 3, mai 2003, p. 847-851</p>
Environnements terrestres	<ul style="list-style-type: none"> Environnements contaminés par l'homme Event hydrothermal du Bassin de Guaymas au Mexique
Environnements extraterrestres	<ul style="list-style-type: none"> Surface martienne
Tolérance aux chaotropes : organisme chaotolérant aux chaotropes	
Variétés et caractéristiques	<ul style="list-style-type: none"> Organisme tolérant aux composés chaotropes (ions Mg²⁺, Ca²⁺ et ClO₄²⁻) Les chaotropes tendent à détruire les interactions non covalentes dans les macromolécules biologiques (protéines, acides nucléiques, etc.) et les assemblages supramoléculaires (membranes phospholipidiques, etc.) alors que les kosmotropes favorisent l'ordonnement et la rigidification des macromolécules et assemblages biologiques. Pas de véritable chaophile encore connu
Limites atteintes en vie terrestre	<ul style="list-style-type: none"> <i>Aspergillus proliferans</i> : croissance à une concentration de 2,1 M de MgCl₂ <i>Aspergillus sydowii</i> : croissance à une concentration de 2,0 M de CaCl₂, dégradation des hydrocarbures polyaromatiques par ce champignon halophile dans des conditions hypersalines

Environnements terrestres	<ul style="list-style-type: none"> • DHABs, lacs athalassohalins (Mer Morte, etc.)
<i>Environnements extraterrestres</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Océan subglaciaire d'Europa, une lune de Jupiter</i> • <i>Surface martienne</i>
Abondance de métaux lourds : Métallo-résistants	
Variétés et caractéristiques	<ul style="list-style-type: none"> • Organismes métallo-résistants pouvant croître dans une solution contenant des concentrations millimolaires d'ions métalliques • Pas de véritable métallophile encore connu
Limites atteintes en vie terrestre	<ul style="list-style-type: none"> • Croissance à 20mM Zn²⁺, 20mM Co²⁺ ou 5mM Cd²⁺ - <i>Ralstonia</i> sp. CHR4 • Survie +48h sur une surface de cuivre pur - <i>Kocuria palustris</i>, <i>Brachybacterium conglomeratum</i>
Environnements terrestres	<ul style="list-style-type: none"> • Sols contaminés, Bassin de Rio Tinto (Sud de l'Espagne)
<i>Environnements extraterrestres</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Ancienne surface martienne</i>
Abondance de solvants organiques : Solvo-résistants à la concentration de solvants	
Variétés et caractéristiques	<ul style="list-style-type: none"> • Organismes solvo-résistants pouvant croître avec une concentration de solvants > 1% ou hautes concentrations • Pas de véritable organisme solvophile encore connu
Limites atteintes en vie terrestre	<ul style="list-style-type: none"> • Pour l'espèce <i>Staphylococcus haemolyticus</i>, survie à 100% toluène, benzène and <i>p</i>-xylène
Environnements terrestres	<ul style="list-style-type: none"> • Environnements contaminés, suintements de pétrole
<i>Environnements extraterrestres</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Atmosphère et surface de Titan, la plus grande lune de Saturne</i>
Pénurie de nutriments : Oligotrophes	
Variétés et caractéristiques	<ul style="list-style-type: none"> • Les oligotrophes se développent en présence d'une très faible quantité de nutriments, leur croissance étant souvent inhibée par des mélanges à forte teneur en nutriments.
Limites atteintes en vie terrestre	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Pelagibacter ubique</i> (<i>P. ubique</i>) a été isolée pour la première fois en 2002 dans la mer des Sargasses, et dans les eaux de surface des côtes de l'Oregon, par une équipe de l'Oregon State University • C'est une alpha-protéobactérie hétérotrophe, donc dépendante de la matière organique qu'elle consomme morte dissoute dans l'eau de l'océan. En se nourrissant du carbone organique dissous, <i>P. ubique</i> produit les nutriments nécessaires à la croissance des algues, à partir desquels les algues doivent convertir le dioxyde de carbone en oxygène. Elle utilise moins d'azote, parfois difficile à obtenir pour les organismes.
Environnements terrestres	<ul style="list-style-type: none"> • Eaux océaniques, déserts, sols oligotrophes
<i>Environnements extraterrestres</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Surface et subsurface martiennes ?</i> • <i>Eaux lunaires glacées ?</i>

Pour mémoire :

- Les unités de pression sont le kg/cm² = 1 atmosphère = 1 bar = 0,1 MPa (100 000 Pascal). Le bar et le Pa sont les plus usitées. Dans la fosse des Mariannes, à 11 km de profondeur, la pression est de 110 MPa.
- Le gray (Gy) est l'unité dérivée de dose absorbée. Elle représente l'énergie d'un rayonnement ionisant apportant une énergie d'un joule à un milieu homogène d'une masse d'un kg. Le gray est utilisé pour préciser les effets déterministes de fortes irradiations sur l'homme. Pour une dose supérieure à 20 Gy, il est possible d'observer des syndromes nerveux, coma, etc. Il est nécessaire de délivrer une dose de 4 180 Gy pour élever 1 Kg de matière de 1°C.
- Le pH s'exprime selon une échelle logarithmique de 0 à 14 unités. Une eau « neutre » possède un pH de 7 unités. Un pH inférieur à 7 indique que l'eau est acide alors qu'un pH supérieur à cette valeur indique qu'il s'agit d'une eau alcaline.
- L'activité de l'eau (a_w) d'un produit se définit comme le rapport entre la pression de vapeur d'eau à sa surface (p_v) et la pression de vapeur d'eau pure (vapeur saturée, p_s) à la température T de ce produit. Elle mesure la proportion de l'eau susceptible d'intervenir dans des réactions chimiques, biochimiques ou microbiologiques : 0 pour un produit sec ; 1 pour l'eau pure.

HALOPHILES ALICANTE 2022

The 13th Conference on Halophilic Microorganisms: HALOPHILES2022
June, 26-29, 2022, | Alicante (Spain)

<https://www.halophiles2022.eu/>



EXTREMOPHILES 2022
LOUTRAKI \ GREECE

13th International Congress on Extremophiles

September 18-22, 2022, Loutraki, Greece

<https://www.extremophiles2022.org>

Sources

Quelques sources générales :

- [Extremophiles - Microbial life under extreme conditions.](#) Journal spécialisé
- International Society for Extremophiles ([ISE](#))
- Agence Nationale de la Recherche ([ANR](#))
- [Année de la biologie 2021-2022](#)
- Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives ([CEA](#))
- [Commission Européenne](#)
- [Cité des Sciences et de l'Industrie](#)
- Centre National de la Recherche Scientifique ([CNRS](#))
- Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement ([INRAE](#))
- Musée National d'Histoire Naturelle ([MNHN](#))
- [Numerama](#)
- [Pour la Science](#)
- [Universalis](#)
- [Usine Nouvelle](#)
- [Wikipédia](#)
- *etc.*

Sources bibliographiques par ordre chronologique :

- Thomas D. Brock, Mercedes R. Edwards, [Fine Structure of *Thermus aquaticus*, an Extreme Thermophile](#), Journal of Bacteriology, 104, 1, 509-517, 1970 ;
- Carl R. Woese, George E. Fox, [Phylogenetic structure of the prokaryotic domain: the primary kingdoms](#). Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 74, 5088-5090, 1977 ;
- Carl R. Woese, O. Kandler, M.L. Wheelis, [Towards a natural system of organisms: proposal for the domains *Archaea*, *Bacteria*, and *Eucarya*](#), Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 87, 4576-4579, 1990 ;
- Karl O. Stetter, [Extremophiles and their adaptation to hot environments](#), *FEBS letters*, vol. 452, n°1-2, 4 juin, p. 22-25, 1999 ;
- P. Lopez-Garcia, *Extrémophiles, les limites du vivant*, in : Les traces du vivant, M. Gargaud (dir.), Presses Universitaires de Bordeaux, 255-271, 2003 ;
- Patrick Forterre, [Microbes de l'enfer](#), Belin - Pour la Science, Paris, 2007 ;
- Joël Quérellou, Jean Guézennec, [Biotechnologie des extrémophiles](#), Techniques de l'ingénieur, Ressources marines et biotechnologies bleues, article BIO580, Editions T.I., *Relu et validé le 27 janv. 2021*, 10 mai 2010 ;
- V. Samarkin et al., [Abiotic nitrous oxide emission from the hypersaline Don Juan Pond in Antarctica](#), Nature Geosci. doi:10.1038/NCEO847, 2010 ;
- [4^{èmes} Journées de Microbiologie de l'Université de Genève](#), Patrick Forterre, Institut Pasteur, Paris (France), Dominique Belin, Faculté de Médecine de Genève (Suisse), 12-13 septembre 2011 ;
- Daniel Prieur, [Extrémophile ? Vous avez dit extrémophile ?](#) Biofutur n°336, octobre 2012 ;
- Pierre Vauclare, [Les Archaea et l'origine de la vie](#), 2013 ;
- M. Detay, [Une aventure aux frontières du vivant - Les extrémophiles en environnement volcanique : de l'origine de la vie à l'exploration spatiale](#), LAVE, 173, 19-32, 2015 ;
- R. Tartèse, M. Chaussidon, A. Gurenko, F. Delarue, F. Robert, [Warm Archean oceans reconstructed from oxygen isotope composition of early-life remnants](#), Geochemical Perspectives Letters, 3, 1, 55-65, 2016 ;
- Gupta A, Gupta R, Singh RL. [Microbes and Environment. Principles and Applications of Environmental Biotechnology for a Sustainable Future](#). Octobre 15:43-84, 2016 ;
- Grégory Fléchet, [Finding Life in an Inferno](#), CNRS News, 18 nov. 2016 ;
- Ibtissem Djinni, [Cours de micro-organismes des milieux extrêmes](#), Université Abderahmane MIRA-Bejaia, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Microbiologie, Année Universitaire 2016/2017 ;
- Thomas C. Boothby, Hugo Tapia, Alexandra H. Brozena, Samantha Piszkiwicz, Austin E. Smith, Ilaria Giovannini, Lorena Rebecchi, Gary J. Pielak, Doug Koshland, Bob Goldstein, [Tardigrades Use Intrinsically Disordered Proteins to Survive Desiccation](#), Molecular Cell, vol.65, n°6, p.975-984, 16 March 2017 ;
- Michel Detay, Pierre Thomas, [Les extrémophiles dans leurs environnements géologiques - Un nouveau regard sur la biodiversité et sur la vie terrestre et extraterrestre](#), Laboratoire de Géologie de Lyon / ENS de Lyon, juin 2018 ;
- P. Sanjoffre, G. Le Hir, [Le paradoxe de la Terre boule de neige](#), Pour la Science, 486, p.26-35, 2018 ;
- [Novel Natural Products from Extremophilic Fungi](#), Xuan Zhang , Shou-Jie Li , Jin-Jie Li , Zi-Zhen Liang et Chang-Qi Zhao, Marine Drugs, 16(6): 194, 4 juin 2018 ;
- [Lumière sur des pili d'archées presque indestructibles](#), le Journal de la Recherche, Institut Pasteur, 23 juillet 2019
- Rémi Denise, [Co-option de systèmes moléculaires complexes de la membrane bactérienne et archéenne](#), Thèse de doctorat en Biologie, Sorbonne Université, 4 octobre 2019 ;
- Laurent Toffin, [Micro-organismes halophiles. Applications biotechnologiques](#), BIO9045, Tech. Ing., juin 2020 ;

- Myriam Richaud, Emilie Le Goff, Chantal Cazevielle et al., [Ultrastructural analysis of the dehydrated tardigrade *Hypsibius exemplaris* unveils an anhydrobiotic-specific architecture](#), Nature, Scientific Reports, 10:4324, 2020 ;
- José F. Gil, Victoria Mesa, Natalia Estrada-Ortiz, Mauricio Lopez-Obando Andrés Gómez, Jersson Plácido, [Virus dans les environnements extrêmes, aperçu actuel et potentiel biotechnologique](#), Virus, 13(1): 81, janv. 2021 ;
- Miranda C. Mudge, Brook L. Nunn, Erin Firth, et al., [Subzero, saline incubations of *Colwellia psychrerythraea* reveal strategies and biomarkers for sustained life in extreme icy environments](#), Environmental Biology, SFAM, Special Issue on Ecophysiology of Extremophiles, Vol.23, n°7, p.3840-3866, July 2021 ;
- Lorenzo Carré, Giuseppe Zaccai, Xavier Delfosse, Eric Girard, and Bruno Franzetti. [Relevance of earth-bound extremophiles in the search for extra-terrestrial life](#). Astrobiology, Mars, vol.22, n°3, p.322-367, 2022 ;
- Lorenzo Carré, [Limites moléculaires de la vie en conditions extraterrestres : biosystèmes extrémophiles sous haute pression et haute salinité](#), thèse de doctorat en en Biologie structurale et nanobiologie, Université de Grenoble Alpes, 21 janvier 2022 ;
- [Extrémophile : Définition, caractéristiques et exemples](#), ProjetEcolo, Antoine Decrouy. 21 février 2022 ;
- Archana S. Rao, Ajay Nair, Veena S. More, K.S Anantharaju, Sunil S. More, Chapter 11 - [Extremophiles for sustainable agriculture](#), Ed. Harikesh Bahadur Singh, Anukool Vaishnav, New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering, Elsevier, p.243-264, 2022 ;
- Sibel Uzuner, Deniz Cekmecelioglu, Chapter 13 - [Extremophilic carbohydrases: production, application, and challenges in association with food processing](#), Ed. Mohammed Kuddus, Cristobal Noe Aguilar, Value-Addition in Food Products and Processing Through Enzyme Technology, Academic Press, p.163-174, 2022 ;
- Jean-Pierre Damiano, [Matières premières, métaux critiques, terres rares : contexte international et enjeux](#), IESF Côte d'Azur, Bull. n°2, p.12-30, 2022 ;
- Rafael R. de la Haba, André Antunes, Brian P. Hedlund, [Extremophiles: Microbial Genomics and Taxogenomics](#), Front. Microbiol., 2 août 2022.

Le [RMS Titanic](#) (1912 - 2022) : 110 ans déjà

Le RMS Titanic (*Royal Mail Steamer*, Paquebot Courrier Royal) avait quitté l'Angleterre le 10 avril 1912 pour traverser l'Atlantique, avant de sombrer au large du Canada dans la nuit du 14 au 15 avril. [Son épave](#), localisée par le professeur [Robert Ballard](#), 1^{er} septembre 1985, gît à 3 843 mètres de profondeur à 650 km au sud-est de Terre-Neuve.

Elle se dégrade rapidement sous l'action de plusieurs bactéries dont la *Halomonas titanicae*. Cette bactérie halophile [Gram négative](#) attaque les structures métalliques en milieu marin salé à basse température (2°C). Elle a été identifiée en 2010 sur un échantillon de [rusticle](#) prélevé en 1991. A l'aide d'une technique d'imagerie par rayonnement à neutrons, les installations de l'[Institut Laue-Langevin](#) (premier centre mondial en science et technologies neutroniques, Grenoble) permirent, en 2016, de démontrer qu'une molécule, l'[éctoïne](#), était utilisée par ces bactéries pour survivre à la [pression osmotique](#) que provoque le sel de l'eau sur leurs membranes. Ce résultat a été obtenu par une collaboration de chercheurs de l'[Institut Laue-Langevin](#) (Grenoble), du [CNRS](#), du [CEA](#), de l'Université Grenoble Alpes ([UGA](#)), de l'Institut Max Planck de biochimie ([MPIB](#)) à Munich (Allemagne) et de la société de biotechnologies allemande [Bitop](#).



©nyiragongo / AdobeStock



L'épave du Titanic (©DR)

5.3 APPLICATIONS BIOTECHNOLOGIQUES DES EXTRÊMOPHILES

5.3.1 QUELQUES RAPPELS

Les biotechnologies sont définies comme l'application de la science et de l'ingénierie à l'utilisation des fonctions biologiques d'organismes vivants, sous leur forme naturelle ou modifiée, pour des applications dans la médecine, la pharmacie, l'agriculture, l'agro-alimentaire, la biorobotique, l'industrie, le monde marin, la protection de l'environnement, le numérique, etc.

Elles résultent d'un mariage entre la science des êtres vivants (la biologie) et un ensemble de techniques nouvelles issues de diverses disciplines (la microbiologie, la biochimie, la biophysique, la génétique, la biologie moléculaire, l'informatique, etc.). Le terme de bioconversion est aussi utilisé.

Elles sont classées par couleur selon le domaine concerné (voir schéma ci-contre).



[Biotech Rouen](#)

L'importance des biotechnologies s'explique d'une part par les progrès de la biologie qui s'est dotée d'outils performants comme le génie génétique, la biologie moléculaire, etc. ; d'autre part, par les domaines concernés (santé, chimie, agro-alimentaire, énergie, matériaux, informatique, etc.) sans oublier les retours sur investissements considérables mais tardifs. Pour la plupart, les procédés biologiques sont plus respectueux de l'environnement que les procédés chimiques industriels classiques (nécessité d'une énergie moindre entre autres).

Face aux enjeux de sécurité énergétique, du changement climatique, des crises politiques et économiques, les biotechnologies industrielles constituent une réponse aux défis existants. De nombreuses entreprises industrielles ont leurs activités basées sur des procédés biotechnologiques (avec l'usage de levures, de microalgues ou de bactéries) afin de créer des composés chimiques à grande valeur ajoutée.

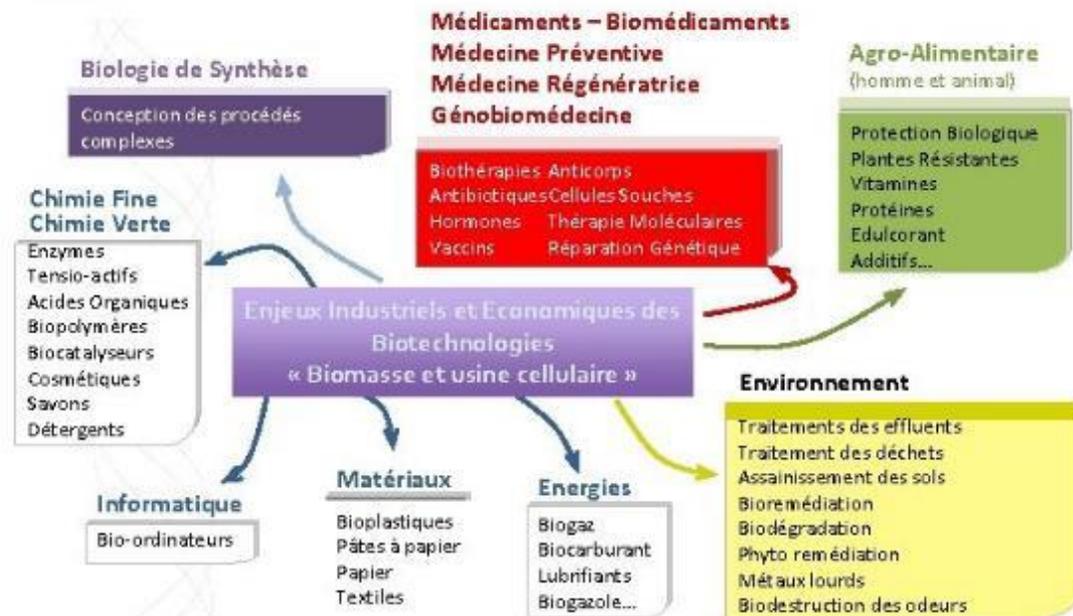
Depuis une quinzaine d'années, les investissements dans le secteur des biotechnologies ont permis d'accompagner des innovations, par exemple, en médecine, en pharmacie, en biorobotique, etc. : traitements spécifiques, recherches génétiques ou génomiques, oncologie, immunologie, implants neuronaux, puces numériques sous-cutanées, prothèses biocompatibles, réparations de valves cardiaques réalisées par cathéters, etc. Cela a pu être réalisé car les recherches scientifiques, la formation et la compétence des chercheurs sont de qualité, avec l'aide de dispositifs avantageux : réforme du statut du chercheur, fonds d'amorçage, crédit impôt-recherche, investissements de la Banque publique d'investissement ([BPI](#)), les structures d'incubation et d'accélération, etc.

En octobre 2021, le [Plan France 2030](#) est lancé. Ses investissements (54 Mds €) sont à la hauteur des enjeux, en particulier, environnementaux : décarbonation de l'industrie et des transports, stockage de carbone atmosphérique (par exemple dans les matériaux à destination du bâtiment), protection de l'environnement (notamment la biodégradabilité de produits à usage perdu comme les crèmes solaires), santé humaine grâce à l'amélioration des procédés ou du profil de risque des produits, économie circulaire ou encore reconception des intrants pour prendre le virage de l'agroécologie. France 2030 soutient les transformations des écosystèmes d'enseignement supérieur, de recherche et d'innovation. [Un appel à projets](#) concerne le développement et l'industrialisation de produits biosourcés et de biotechnologies industrielles a été initié en janvier 2022.

Le terme de Biotech est utilisé pour désigner l'ensemble de toutes les entreprises, les laboratoires et les entités dont l'activité repose principalement sur les biotechnologies.

Le secteur médical constitue un des principaux domaines d'application de la Biotech. L'Organisation Mondiale de la Santé ([OMS](#)), cet écosystème nommé [Medtech](#), est défini comme « l'application de connaissances et de compétences organisées sous la forme d'appareils, de médicaments, de vaccins, de procédures et de systèmes développés pour résoudre un problème de santé et améliorer la qualité de vie ». Medtech regroupe toutes les technologies destinées à l'environnement de soin. Selon [Bpifrance Le Hub](#), il existe plus de 250 000 entreprises Medtech en Europe. En France, c'est un marché estimé à 28 milliards d'euros de chiffre d'affaires. 1 300 entreprises développent et commercialisent des dispositifs médicaux, dont 92 % de PME et 13 % exclusivement actives en R&D.

Les Domaines Principaux d'Applications des Biotechnologies



Ou comment croître sans puiser dans les réserves naturelles et sans polluer (biodégradabilité)

Notre sujet en cours traite des applications biotechnologiques des extrémophiles. L'étude de leur métabolisme et l'usage de leurs biomolécules (extrémozymes, bio-polymères, métabolites secondaires, etc.) sont d'un intérêt primordial pour l'ensemble des laboratoires de recherche, des industriels et start-ups spécialisés.

5.3.2 DANS LES SECTEURS DE LA MÉDECINE, DE LA PHARMACIE, DE LA BIOROBOTIQUE

Les biomédicaments anciens étaient des molécules chimiques plus ou moins simples comme l'aspirine provenant du saule, la pénicilline de moisissure, etc.

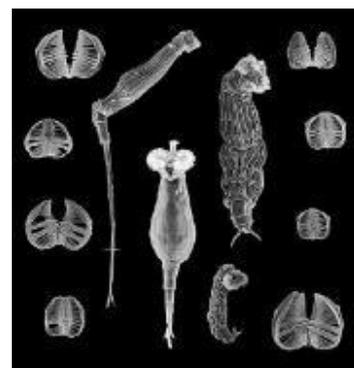
Aujourd'hui, ils sont le résultat de recherches menées avec l'aide d'outils de génie génétique. Le contexte a permis la prise en compte des médecines traditionnelles (chinoises, indiennes, africaines ou autres) qui utilisaient des principes actifs extraits du monde animal, végétal ou microbien.

En oncologie

Les [travaux](#) de Karine Van Doninck et son équipe (2022) ont permis la découverte d'une molécule conférant aux rotifères bdelloïdes, petits animaux multicellulaires microscopiques, connus pour leur capacité à survivre à des températures extrêmement basses, une radiorésistance remarquable. Elle a été brevetée et laisse envisager de grands progrès en thérapie du cancer : lorsque cette molécule du rotifère est transférée dans des cellules humaines, celles-ci deviennent à leur tour radio-résistantes.

Selon [Wikipédia](#), les *Bdelloidea* (les bdelloïdes en français) sont une sous-classe de l'embranchement des rotifères. Les rotifères bdelloïdes sont des organismes microscopiques, dont la longueur varie entre 150 et 700 µm. La plupart sont trop petits pour être visibles à l'œil nu, mais peuvent être observés à l'aide d'une simple lentille grossissante.

Les *Bdelloidea* représentent quatre familles et plus de 450 espèces connues au sein des rotifères. Ils vivent principalement dans l'eau douce et dans les sols humides. Ils sont caractérisés par leur morphologie typique : bouche, tronc et pied et une locomotion souvent rampante. La classe des *Bdelloïdes* se reproduit par [parthénogenèse](#) depuis plus de 35 millions d'années, sans qu'aucune trace de l'existence de mâle (ni même de [méiose](#)) n'ait à ce jour été



Vues prises au microscope électronique montrant la variation morphologique des rotifères bdelloïdes et de leurs « mâchoires ». Diego Fontaneto - [Who Needs Sex \(or Males\) Anyway?](#) Gross, L. *PLoS Biology* Vol. 5, No. 4, e99, mars 2007

découverte. Leur triple capacité de parthénogenèse, de capacité à protéger et réparer leur ADN et de résistance à la [dessiccation](#) pourrait constituer un avantage compétitif décisif dans le milieu soumis à de régulières dessiccations.

Des chercheurs russes ont rapporté la survie d'un rotifère bdelloïde parthénogénétique obligatoire, récupéré dans le [permafrost](#) ([pergélisol](#)) du nord-est de la Sibérie, daté au radiocarbonate à environ 24 000 ans BP*. Il s'agirait du plus long cas rapporté de survie de rotifères à l'état congelé.

* Notation en archéologie : les initiales BP pour *Before Present* signifiant « avant le présent ». Elle est utilisée à la place de « av. J.-C. » (avant Jésus-Christ) pour compter les années vers le passé. Mais ce « présent » est fixé à l'année 1950. Ainsi 7800 ans BP signifie 5850 av. J.-C.

Dans le domaine des antibiotiques

Quel que soit leur habitat, les bactéries extrémophiles doivent toutes développer des stratégies pour réparer leur ADN et protéger ainsi leurs protéines des agressions extérieures.

Rapporté par [Numérana](#) (2016), les propos de Bruno Franzetti, directeur du groupe Extrémophiles et grands assemblages de l'Institut de biologie structurale de Grenoble, précisait les conditions de la protection des protéines : « *Il existe dans toutes les cellules un système de contrôle qualité qui détruit les protéines déficientes ... Ce système est important car il assure le bon fonctionnement des fonctions cellulaires. Lorsqu'on commence à accumuler des amas de protéines déficientes, mal repliées, les fonctions cellulaires sont endommagées et des pathologies comme les maladies neurodégénératives ou le vieillissement apparaissent. Or, ces systèmes sont particulièrement optimisés chez les extrémophiles.* »

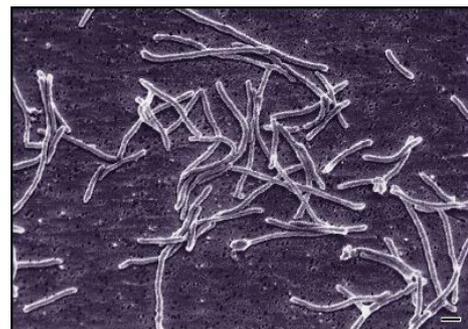
La consommation d'antibiotiques est très forte dans nos sociétés modernes. Compte-tenu de la résistance croissante des bactéries, les extrémophiles pourraient jouer un rôle primordial. Le projet international de recherche [PIONeer](#) a été lancé le 23 novembre 2017 à [Marseille](#), dans l'objectif de mieux comprendre, prévenir et contourner les résistances à l'immunothérapie dans le cancer du poumon. Il s'agit donc d'étudier les microscopiques vers marins, les nématodes, qui évoluent en milieu extrême (sources hydrothermales profondes) pour comprendre leurs interactions avec les bactéries. Bruno Franzetti déclarait à ce sujet : « *Nous espérons trouver des symbioses entre nématodes et organismes extrémophiles pour identifier certaines molécules de communication qui pourraient donner lieu au développement de nouveaux antibiotiques* ».

Au sujet du test PCR

Quand on ressent les symptômes de la Covid-19, on se rend chez le pharmacien ou le laboratoire d'analyses pour effectuer un test antigénique ou un test PCR (*Polymerase Chain Reaction*) afin de déterminer si on a contracté le virus SARS-Cov-2. La technique de la PCR (réaction en chaîne par polymérase) nécessite l'usage d'une bactérie extrémophile, *Thermus aquaticus*, tolérante aux fortes températures (jusqu'à 85°C) et aux milieux très acides.

Cette bactérie découverte en 1969 par [Thomas Brock](#) et Hudson Freeze, de l'Université de l'Indiana, auprès de la source chaude *Mushroom Spring* du bassin *Lower Geyser Basin* dans le Parc National du Yellowstone. Cette même bactérie a aussi été trouvée depuis dans des environnements chauds similaires à travers le monde.

Elle contient une enzyme [Taq ADN polymérase](#) qui est devenue une des enzymes thermostables les plus utilisées en biologie moléculaire. Elle a la capacité de réaliser la polymérisation (la copie en millions d'exemplaires) de fragments d'ADN (Acide DésoxyriboNucléique) et donc de donner la possibilité de détecter l'élément recherché.



Thermus aquaticus. Bactéries déposées sur un filtre millipore de 0,22 µm (échelle=1 µm)

Diane Montpetit (Centre de recherche et de développement sur les aliments, Agriculture et Agroalimentaire, Canada)

Cela a été décisif pour toutes les innovations qui ont suivi car cette bactérie abritait des enzymes, non seulement résistantes aux hautes températures, mais dont l'activité était optimale à ces températures !

En effet l'ADN n'est copiable qu'à partir de 70°C et les enzymes courantes ne fonctionnent que vers 30°C environ. Aussi pour réaliser efficacement et avec fiabilité la détection de virus, par exemple, il fallait avoir à disposition des enzymes fonctionnant à haute température. Ainsi si l'enzyme arrive à recopier des fragments d'ADN du SARS-Cov-2 dans le tube contenant le prélèvement d'un patient, alors le patient est porteur du virus : le test est positif. Sinon l'échantillon analysé ne contient pas ce virus et le test est négatif.

« Les recherches sur les thermophiles ont donc réellement débuté avec les découvertes de Brock et Freeze, avec la prise de conscience que, lorsque de l'eau liquide est disponible, il n'y a peut-être aucune limite à la température à laquelle les micro-organismes peuvent se développer. » Cela a donc initié une avancée majeure en biologie moléculaire.

Dans le domaine industriel, les enzymes de *Thermus aquaticus* en tant que bactéries thermophiles sont utilisées pour la dégradation des polychlorés biphényles (PCB) toxiques qui sont des composés aromatiques organochlorés dérivés du biphényle. Ils sont très stables à la chaleur et leur inertie chimique les rend peu sensibles aux acides, bases et oxydants.

En criminalistique et en médecine légale, l'utilisation de la polymérisation en chaîne, avec l'aide de l'enzyme ADN polymérase, est une avancée technologique permettant l'analyse à partir de fragments ou de quantités infimes d'ADN encore présents même lors de la dégradation de la molécule. A partir de traces biologiques laissées sur les lieux des faits, sur les victimes, etc. il est possible d'effectuer une identification de corps, par exemple. Cette amplification d'ADN peut aussi entraîner celle d'un ADN parasite sans rapport avec l'affaire en cours, d'où un risque de pollution à évaluer.

Sources spécifiques :

- ENS-Lyon, Réseau lyonnais d'ingénierie éducative ([RELIE](#)) ;
- [Thermus Species](#), R. Sharp, R. Williams, Springer, *Part of the book series: Biotechnology Handbooks* (BTHA, vol.9), mai 1995 ;
- [Le Monde vivant](#), Épisode du lundi 1^{er} février 2021, Radio France, Bruno David ;
- B. Ludes, [L'amplification génique : une révolution en médecine légale et en criminalistique](#). *Polymerase chain reaction: A revolution in legal medicine and forensic sciences*. Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine, vol. 205, n°4, avril 2021, p.396-401
- [Universalis](#)

Il ne faut pas oublier les champignons extrêmophiles qui constituent une source de biomolécules aux nombreuses applications industrielles. En effet, les extrémozymes fongiques extraites sont cultivables sur des déchets agro-industriels donc facilement purifiées. Elles sont intégrables aux processus industriels à grande échelle, dans le respect des règles environnementales. Outre les extrémozymes, les champignons extrêmophiles représentent une ressource exploitable de médicaments cytotoxiques et antimicrobiens.

5.3.3 DANS LE SECTEUR NUMÉRIQUE

Des projets et recherches en cours pour de futurs processeurs à base d'ADN grâce à la biologie moléculaire, permettent d'avoir des puissances de calcul inédites, etc.

Selon une [communication](#) du CNRS du 30 mai 2022, le programme et équipement prioritaire de recherche, le [PEPR exploratoire MoleculArXiv*](#) vise à inventer de nouveaux dispositifs de stockage de données sur ADN et polymères artificiels. Marc Antonini, Directeur de recherche CNRS au Laboratoire d'Informatique, Signaux et Systèmes de Sophia Antipolis (CNRS/Université Cote d'Azur) est le coordinateur. Il en dévoile les enjeux et objectifs :

- « L'Univers digital, soit la quantité de données stockées sur la planète, sera de 175 zettaoctets d'ici 2025. Pour mémoire, un zettaoctet équivaut à mille milliards de milliards d'octets (10^{21} octets), soit un milliard de disques durs d'un téraoctet. Et alors que la croissance de ces données est exponentielle, les capacités de stockage, elles, ne suivent pas. Dans ces données, une partie estimée de 60 % à 80 % est dite froide (données que l'on utilise rarement, voire jamais, comme par exemple les documents légaux ou des vieux emails). Mais les *data centers* sont obligés de les conserver. Ces *data centers* sont extrêmement énergivores et leur capacité de stockage ne pourra pas suivre la croissance exponentielle des données. La nécessité de trouver des solutions alternatives, pérennes et à faible consommation énergétique pour stocker les données est vitale. »
- « L'ADN synthétique, bien stocké peut être récupéré des milliers d'années plus tard. Il suffit de le préserver de l'oxygène, de l'eau et de la lumière. Dans le cadre du stockage de données, il est question d'ADN synthétisé de façon chimique pour lequel les scientifiques construisent des séquences qui ne comportent pas de gène. Nous ne sommes pas sur de la biologie du vivant, mais sur de la synthèse chimique. Pour la conservation, on insère l'ADN dans une mini capsule métallique (développée actuellement par la société française [Imagene](#)). Ces mini capsules peuvent stocker des millions de brins d'ADN (donc de données) car celui-ci est très compact. En théorie, une seule de ces capsules pourrait contenir l'équivalent d'un *data center* - on peut donc imaginer les gains énergétiques, mais également d'espace sur le territoire. »



Lors d'une cérémonie officielle de [dépôt d'archives numériques sur ADN](#), des capsules DNAsHells, renfermant les textes de la Déclaration des Droits de l'Homme et du Citoyen de 1789 et de la Déclaration des droits de la Femme et de la Citoyenne de 1791 (rédigée par Olympe de Gouges) encodés par une équipe de l'Université de la Sorbonne et du CNRS, ont été remises aux Archives Nationales. 6 déc. 2021 [Dossier Presse CNRS](#)

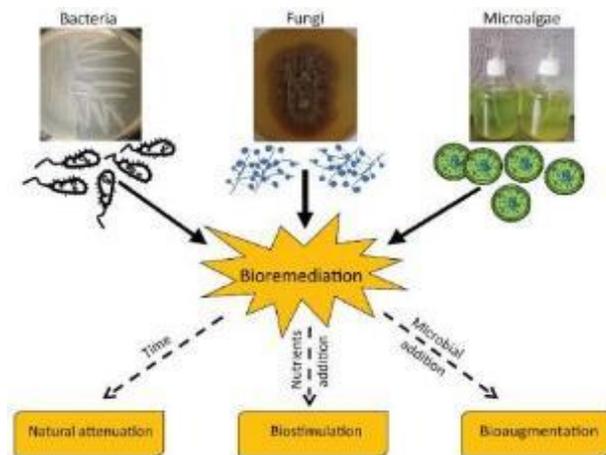
Les capsules d'Imagene se retrouvent ainsi stockées dans la célèbre « Armoire de fer » à côté d'autres textes ou documents historiques comme les testaments de Napoléon et de Louis XIV, ou le mètre étalon.

*Les PEPR exploratoires visent des secteurs scientifiques ou technologiques en émergence pour lesquels l'Etat souhaite identifier et structurer ces communautés. Ils sont financés dans le cadre du volet recherche du PIA 4 et du plan France Relance. Les PEPR exploratoires sont issus d'une sélection drastique par un jury international.

5.3.4 LA BIOREMÉDIATION

Des bactéries extrêmophiles, surtout des archées, ont été repérées pour leur grand potentiel d'application dans le processus de bioremédiation qui est une technique utilisant des micro-organismes pour la décomposition des polluants organiques et inorganiques. Les activités anthropiques sont la cause principale de la pollution des sols, de l'eau et de l'air dans le monde. Les extrêmophiles sont capables de produire des enzymes thermolabiles qui peuvent fonctionner normalement même dans des conditions extrêmes. Ces enzymes et protéines peuvent être utilisées dans le processus de biorestauration dans des conditions extrêmes de pH, de stress dû aux métaux lourds et de température défavorable.

Les systèmes marins côtiers sont fréquemment contaminés par des hydrocarbures d'origine anthropique qui font partie des contaminants majoritaires du milieu. Plusieurs stratégies de réhabilitation biologique (bioremédiation) peuvent être mises en place. Celles-ci sont basées sur la stimulation des capacités métaboliques naturelles des micro-organismes autochtones (biostimulation) ou sur l'ajout de souches ou consortia microbiens dans le milieu à dépolluer (bioaugmentation). Parfois, la meilleure réponse peut consister à ne pas intervenir et à laisser les processus naturels d'autoépuration agir (atténuation naturelle).



Dégradation des hydrocarbures pétroliers à médiation bactérienne

La bioremédiation est une stratégie respectueuse de l'environnement et peu coûteuse. Elle repose sur la capacité des microorganismes (y compris les procaryotes, les champignons et les microalgues) à réduire les concentrations de contaminants et/ou leur toxicité. La connaissance du milieu et de la nature de la pollution est essentielle pour choisir la meilleure stratégie de bioremédiation pour optimiser son efficacité.

Toutes sortes de polluants pour la biodiversité marine sont bien réels : métaux lourds et métalloïdes, hydrocarbures aromatiques aliphatiques et polycycliques, composés halogénés, etc. Ils proviennent de plusieurs sources comme les rejets industriels inappropriés, les pratiques d'élimination des déchets, la combustion, etc. Leurs impacts sont plus significatifs sur les écosystèmes côtiers, d'où une accumulation de contaminants chimiques dans les sédiments. Différentes techniques physico-chimiques ont été développées pour réduire les concentrations de polluants dans l'eau.

Les bactéries les plus souvent associées à la présence de pétrole dans la mer sont celles qui appartiennent aux gammaprotéobactéries, en particulier les membres des *Océanospirillales* et des *Alteromonadales*, y compris les dégradateurs d'hydrocarbures tels que *Alcanivorax*, *Halomonas*, *Marinobacter*, *Oleispira*, *Thalassolituus*, et *Oleiphilus*. Les rendements élevés de dégradation des bactéries en milieu marin sont en partie dus à leurs caractéristiques halophiles leur permettant de fonctionner sous différents niveaux de stress salin. Suivant les conditions, des études ont prouvé que des associations de bactéries halophiles ont démontré leur efficacité.

Largement inspiré des sources :

- F. Dell'Anno, E. Rastelli, C. Sansone, C. Brunet, A. Lanora, A. Dell'Anno. [Bacteria, Fungi and Microalgae for the Bioremediation of Marine Sediments Contaminated by Petroleum Hydrocarbons in the Omics Era](#). *Microorganisms* 2021, 9, 1695 ;
- Philippe Cuny, Cécile Militon, [Techniques de bioremédiation des hydrocarbures en système marin côtier](#), Tech. Ing., Réf : GE1042 v1, 10 juin 2022.

5.3.5 L'EXOBILOGIE

L'exobiologie (les anglo-saxons préfèrent le terme astrobiologie) peut se définir comme l'étude de l'origine, de l'évolution, de la distribution (et du futur) de la vie dans l'univers : la vie extraterrestre et la vie sur Terre (H. Cottin, 2019).

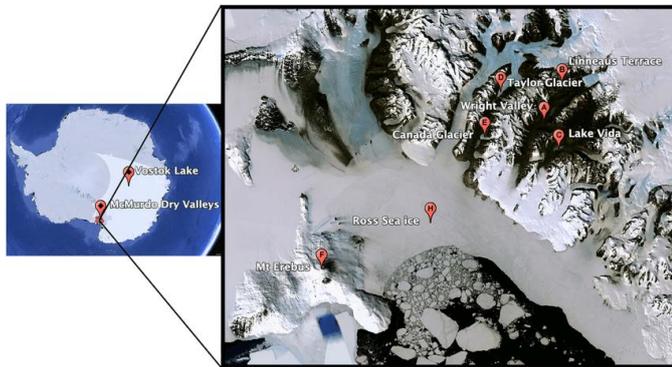
Tous ses habitants sont contraints par un grand nombre de paramètres physico-chimiques environnementaux. En fonction du temps et de l'espace, les valeurs atteintes par ces paramètres comme la température, la salinité, le pH, la pression varient considérablement. Les combinaisons des valeurs atteintes (minimales et maximales) par ces différents paramètres dans une zone géographique donnée définissent des biotopes, ou des ensembles de conditions environnementales, convenant à une espèce donnée.

La découverte des extrêmophiles, particulièrement celle des hyperthermophiles, a changé la perception de la Vie sur Terre qui n'existait donc pas seulement dans des sites où les paramètres physico-chimiques avaient une valeur acceptable par tous les organismes dont on avait la connaissance. Compte-tenu de cela, les scientifiques dont les exobiologistes, les planétologues, les astrophysiciens, ont donc mis en œuvre des projets de recherche visant à rechercher des traces, des indices de vie sur les planètes du système solaire.

Un des objectifs de l'exobiologie est l'étude de l'habitabilité d'autres corps planétaires. Les missions d'exploration spatiale étant coûteuses et nécessitant une organisation à long terme, l'étude préliminaire des environnements terrestres est une étape essentielle pour préparer et soutenir les missions d'exploration. Il existe, sur Terre, des environnements extrêmes qui possèdent des conditions géologiques ou environnementales semblables à celles des

corps célestes de notre système solaire. Leur étude permet de mieux connaître les processus planétaires terrestres et extraterrestres, de tester des technologies, des méthodologies et des protocoles etc. La découverte d'un nouveau type de vie, indépendant de la vie terrestre, présenterait donc un énorme intérêt scientifique.

L'utilisation des extrémophiles comme analogues de la vie extraterrestre a des limites en raison des conditions mêmes dans lesquelles l'évolution opère, bien que l'analyse de ces conditions fournisse des outils conceptuels pour la recherche de la vie ailleurs dans le système solaire et au-delà ([lan von Hegner, 2021](#)).



L'Antarctique est un des meilleurs sites analogues terrestres. Ses conditions se situent à la limite de l'habitabilité. Il est caractérisé par un climat froid et sec (Onofri et al., Nova Hedwigia 68:175-182, 1999), une faible disponibilité en eau, de forts vents catabatiques, une concentration de sel, la dessiccation et un rayonnement élevé.

Source : Cassaro Alessia, Pacelli Claudia, Aureli Lorenzo, Catanzaro Ilaria, Leo Patrick, Onofri Silvano, [Antarctica as a reservoir of planetary analogue environments](#). *Extremophiles* 25, 437-458, 2021 ;

Environnements analogues d'intérêt astrobiologique, situés dans le cratère d'impact Houghton, île Devon, Canada :

a : brèches d'impact (gris ; arrière-plan) et sédiments paléolacustres intra-cratère (beige-brun ; premier plan) ;
b : couche de dépôts de sulfures hydrothermaux induite par impact ;
c : tapis microbiens provenant d'un étang séché.

Source : Richard Léveillé, [Validation of astrobiology technologies and instrument operations in terrestrial analogue environments](#), *Comptes Rendus Palevol*, vol.8, n°7, p.637-648, octobre 2009

BIOMEX (BIOlogy and Mars EXperiment) est une expérience d'exposition spatiale en orbite terrestre basse, de l'ESA/Roscosmos hébergée dans l'installation d'exposition EXPOSE-R2 à l'extérieur du module Zvezda de la Station spatiale internationale (ISS). Elle a été initiée en 2013. L'objectif principal est de mesurer, dans quel contexte, les biomolécules, telles que les pigments et les composants cellulaires, sont résistantes et capables de maintenir leur stabilité dans l'espace et dans des conditions similaires à celles de Mars. Un autre objectif scientifique est de savoir analyser dans quelle circonstance les extrémophiles terrestres sont capables de survivre dans l'espace et de déterminer quelles interactions entre les échantillons biologiques et les minéraux sélectionnés (y compris les analogues terrestres, lunaires et martiens) peuvent être observées dans des conditions spatiales et martiennes. Le concept BIOMEX pourrait être étendu à de futures expériences d'exposition sur la Lune et servira de test préliminaire en orbite terrestre basse.

Dans ce projet, des lichens*, des archées, des bactéries, des cyanobactéries, des algues de neige/permafrost, des champignons noirs méristématiques et des bryophytes d'habitats alpins et polaires ont été intégrés, cultivés et mis en culture sur un mélange d'analogues de régolithe martien et lunaire ou d'autres minéraux terrestres. Les organismes, les analogues de régolithe et les mélanges de minéraux terrestres ont ensuite été exposés à l'espace et à des conditions simulant celles de Mars grâce à l'installation.



EXPOSE-R2 on the International Space Station with experiment BIOMEX. (Courtesy of ESA).

*Les espèces de lichen exposées à l'espace et à des conditions semblables à celles de Mars sont : *Rhizocarpon geographicum*, *Xanthoria elegans*, *Circinaria gyrosa*, *Stereocaulon vesuvianum*, et *Xanthoparmelia hueana*. Les résultats ont montré que *Xanthoria elegans*, *Circinaria gyrosa* et *Xanthoparmelia hueana* ont montré la plus grande survie à l'environnement extraterrestre, démontrée par des études physiologiques et ultrastructurales.

> Au début des années 2000, le programme "Exobiologie" a été difficile à mettre en place en France : il était alors considéré comme une aimable conversation de salon ... C'est sous l'impulsion de Didier Despois et Muriel Gargaud, de l'université de Bordeaux (avec l'aide de l'INSU / Jean-Pierre Rozelot) qu'un programme scientifique ambitieux a été lancé en 2001 et 2003, qui n'aboutit que maintenant avec la mise en place la thématique Origines/Exobiologie qui a été recommandée par la prospective de l'Institut national des sciences de l'Univers ([INSU](#)) à travers la mise en place d'un axe transverse : « [Terres primitives et apparition de la vie](#) ». Cet axe a été ouvert dans le cadre de l'appel d'offres des programmes nationaux INSU 2022. Il s'agit de mettre en place de courts projets de recherche d'une année entre des porteurs d'au moins deux domaines différents de l'INSU ou issus de l'INSU et d'autres instituts du CNRS ...

Parmi les publications de départ de cette aventure, on peut citer :

- M. Gargaud (Dir), D. Despois (Dir), J.-P. Parisot (Dir), [L'environnement de la Terre Primitive](#), Coll. [L'origine de la Vie sur Terre et la vie dans l'Univers](#), Presses Universitaire de Bordeaux, 2001 et 2005 ;
- M. Gargaud (Dir), D. Despois, J.-P. Parisot, J. Reisse, [Les traces du vivant](#), Presses Universitaire de Bordeaux, 2003.

Sources :

- J.L. Cayol, B. Ollivier, Didier Alazard, R. Amils, A. Godfroy, D. Marty, F. Piette, D. Prieur. [Les conditions de vie extrêmes sur la planète et exobiologie](#). In : Eds / Bertrand J.C., Caumette P., Lebaron P., Matheron R., Normand P. *Ecologie microbienne : microbiologie des milieux naturels et anthropisés*. Pau : PUPPA, p. 363-371, 2011 ;
- Jean-Pierre de Vera, Mashal Alawi, Theresa Backhaus et al., [Limits of Life and the Habitability of Mars: The ESA Space Experiment BIOMEX on the ISS](#), *Astrobiology*.vol.19, n°2, p.145-157, Février 2019 ;
- Rosa Noetzel, Leopoldo Sancho. [Lichens as Astrobiological Models: Experiments to Fathom the Limits of Life in Extraterrestrial Environments](#), Chapter 9, In: *Extremophiles as Astrobiological Models*, Eds. Joseph Seckbach, Helga Stan-Lotter, Dec. 2020 ;
- Rosa Noetzel, Garcia Ortega, Victoria María, Olga Bassy, Maria Ramirez, Jesus Frías, Jean-Pierre de Vera, Ute Boettger, Sancho Leopoldo, Adela Villasante. [Lichens as ideal models for astrobiological studies: limits of life at extraterrestrial conditions](#) 09.09.21 POSTER-4 Rosa de la Torre. Conference: EANA Workshop 2021, [BIOMEX \(Biology and Mars Experiment\)](#).

RED'22

Rencontres exobiologiques pour doctorants, 13-19 mars 2022

Pour tout étudiant préparant une thèse en Sciences de la Terre et de l'Univers, Sciences Chimiques, Sciences de la Vie, Bio-informatique ou Histoire/philosophie des Sciences en France ou dans tout autre pays.

A tous ceux désirant acquérir une formation interdisciplinaire en exobiologie afin de compléter leur formation initiale et de pouvoir aborder les questions touchant aux origines de la vie sur Terre, à son évolution et à sa distribution dans l'Univers.

[Pour en savoir plus](#)



5.4 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les extrémophiles et leurs environnements extrêmes suscitent toujours un grand intérêt pour la communauté scientifique et la biotechnologie. De nombreux états, entreprises et industries internationales investissent dans la caractérisation de leurs constituants (extrémozymes, etc.), la compréhension des mécanismes d'adaptation aux environnements difficiles, etc. Les applications biotechnologiques innovantes utilisent leur potentiel dans de nouveaux procédés que ce soit en médecine, en chimie, en microbiologie spatiale, en bio-énergie, dans le numérique, etc. L'ensemble de ces études montrent à l'évidence la nécessité d'une approche scientifique pluridisciplinaire.

Si des efforts nationaux et internationaux conséquents ont pu être réalisés et d'autres programmés, il est indispensable que la formation supérieure soit assurée et soutenue. L'Europe doit mettre les moyens nécessaires à la synergie académique-industriel pour mener à bien ces recherches riches de résultats inédits concernant nos connaissances sur ces systèmes d'adaptation aux conditions extrêmes.

Les progrès en biologie, métagénomique, biologie synthétique, etc. favoriseront la découverte de nouvelles enzymes naturelles ou permettront la modélisation d'enzymes artificielles avec des propriétés spécifiques pour une application ciblée. Cependant, tous ces travaux de recherche, le contenu des applications biotechnologiques devraient être réalisés dans un cadre éthique rigoureux et sous contrôle de la communauté humaine. Des questions de biosécurité se posent.

Sources :

Quelques sources générales :

- [Extremophiles - Microbial life under extreme conditions.](#) Journal spécialisé
- International Society for Extremophiles ([ISE](#))
- Société française d'exobiologie ([SFE](#))
- Agence Nationale de la Recherche ([ANR](#))
- [Année de la biologie 2021-2022](#)
- Banque publique d'investissement ([BPI](#))
- [Biotech-Finances](#)
- Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives ([CEA](#))
- [Commission Européenne](#)
- [Cité des Sciences et de l'Industrie](#)
- Centre National de la Recherche Scientifique ([CNRS](#))
- [France Biotech](#)
- Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement ([INRAE](#))
- [Musée National d'Histoire Naturelle \(MNHN\)](#)
- [Numerama](#)
- [Pour la Science](#)
- [Universalis](#)
- [Usine Nouvelle](#)
- [Wikipédia](#)
- etc.

Sources bibliographiques par ordre chronologique :

- [Biodégradations et métabolismes. Les bactéries pour les technologies de l'environnement](#), Jean Pelmont, Coll. Grenoble Sciences dirigée par Jean Bornarel, EDP Sciences, mars 2005 ;
- [Les apports de la science et de la technologie au développement durable, Tome II : La biodiversité : l'autre choc ? l'autre chance ?](#) Notice-Rapport du Sénat, 12 décembre 2007 ;
- Richard Léveillé, [Validation of astrobiology technologies and instrument operations in terrestrial analogue environments](#), Comptes Rendus Palevol, Elsevier, vol.8, n°7, p.637-648, 2009 ;
- [Perspective d'avenir pour la biotechnologie industrielle](#), Rapport OECD, Organisation for Economic Cooperation and Development, 2011 ;
- J.L. Cayol, B. Ollivier, Didier Alazard, R. Amils, A. Godfroy, D. Marty, F. Piette, D. Prieur. [Les conditions de vie extrêmes sur la planète et exobiologie](#). In : Eds / Bertrand J.C., Caumette P., Lebaron P., Matheron R., Normand P., *Ecologie microbienne : microbiologie des milieux naturels et anthropisés*. Pau : PUPPA, p.363-371, 2011 ;
- Gérard Tremblin, Abderrazak Marouf, [Abrégé de biochimie appliquée](#), Collection Grenoble Sciences, EDP Sciences, juillet 2015 ;
- [Les science omiques ? Du nouveau pour la biologie moléculaire et pour la planète](#), The Conversation 16 déc. 2018 ;
- Jean-Pierre de Vera, Mashal Alawi, Theresa Backhaus et al., [Limits of Life and the Habitability of Mars: The ESA Space Experiment BIOMEX on the ISS](#), Astrobiology. Vol.19, n°2, p.145-157, Février 2019 ;
- [Biotechnologie : comment investir dans une biotech en Bourse ?](#) Café de la Bourse, Clémence Tanguy, 28 fév.2020 ;
- J.-P. Damiano, [Les végétaux doués d'intelligence ? Aspects historiques et philosophiques. Eléments de synthèse des capacités cognitives et des mécanismes. Nouvelles approches bio-robotiques](#). IESF Côte d'Azur, Bull. n°3, p.10-25, 2020 ;
- Rosa Noetzel, Leopoldo Sancho. [Lichens as Astrobiological Models: Experiments to Fathom the Limits of Life in Extraterrestrial Environments](#), Chapter 9, In: Extremophiles as Astrobiological Models, Eds. Joseph Seckbach, Helga Stan-Lotter, Dec. 2020 ;
- L. Shmakova, S. Malavin, N. Iakovenko et al. [A living bdelloid rotifer from 24,000-year-old Arctic permafrost](#). Curr Biol. Jun 7;31 :R697-R713, 2021 ;
- [Les extrémozymes en électrocatalyse](#), Elisabeth Lojou, Bioénergétique et ingénierie des protéines (BIP) CNRS, [L'actualité chimique](#), Juin, n°463, p.23-28. A reçu le Prix Chercheur confirmé de la division Chimie physique (DCP) de la Société Chimique de France en 2020, 2021 ;
- Ian von Hegner, [Extreme Exoworlds and the Extremophile Paradox](#), [Astrobiology](#) 22(8), September 2021 ;
- Cassaro Alessia, Pacelli Claudia, Aureli Lorenzo, Catanzaro Ilaria, Leo Patrick, Onofri Silvano, [Antarctica as a reservoir of planetary analogue environments](#). Extremophiles 25, 437-458, 2021 ;
- Rosa Noetzel, Garcia Ortega, Victoria María, Olga Bassy, Maria Ramirez, Jesus Frías, Jean-Pierre de Vera, Ute Boettger, Sancho Leopoldo, Adela Villasante. [Lichens as ideal models for astrobiological studies: limits of life at extraterrestrial conditions](#) 09.09.21 POSTER-4 Rosa de la Torre. Conference: EANA Workshop 2021, BIOMEX ([Biology and Mars Experiment](#)), 2021 ;
- F. Dell'Anno, E. Rastelli, C. Sansone, C. Brunet, A. Lanora, A. Dell'Anno. [Bacteria, Fungi and Microalgae for the Bioremediation of Marine Sediments Contaminated by Petroleum Hydrocarbons in the Omics Era](#). Microorganisms 2021, 9, 1695 ;
- [Biotech industrielle : Quelles perspectives pour les cleantechs de chimie verte sur le marché pharma ?](#) Françoise de Vaugelas, L'Usine nouvelle, 27 Janvier 2022 ;
- [La biotechnologie en bioréacteurs ou fermenteurs : une technologie aux nombreuses applications](#), Gunther Kolder et Dion Oudejans, BronkHorst, 17 mai 2022 ;
- Philippe Cuny, Cécile Militon, [Techniques de bioremédiation des hydrocarbures en système marin côtier](#), Tech. Ing., Réf : GE1042 v1, 10 juin 2022 ;
- [Le monde fascinant et microscopique des rotifères bdelloïdes](#), Karine Van Doninck, Université Libre de Bruxelles ([ULB](#)), Unité de recherche en Biologie Moléculaire et Evolution ([MBE](#)), [Soapbox Science 2022](#), Bruxelles, Belgique, 21 juin 2022 ;
- Fasim, et al., [Biotechnological Application of Extremophilic Fungi](#). In: Sahay, S. (eds) Extremophilic Fungi. Springer, Singapore, 2022 ;
- Brenda Bezus, Ivana Cavello, Juan Carlos Contreras-Esquivel, Sebastián Cavalitto, Chapter 32 - [Pectinases produced by extremophilic yeasts: from cold environments to the food industry](#), Ed. Mohammed Kuddus, Cristobal Noe Aguilar, Value-Addition in Food Products and Processing Through Enzyme Technology, Academic Press, p.437-452, 2022 ;
- Lorenzo Carré, Giuseppe Zaccai, Xavier Delfosse, Eric Girard, and Bruno Franzetti. [Relevance of earth-bound extremophiles in the search for extra-terrestrial life](#). Astrobiology, Mars, vol.22, n°3, p.322-367, 2022 ;

- Brenda Bezus, Ivana Cavello, Juan Carlos Contreras-Esquivel, Sebastián Cavalitto, Chapter 32 - [Pectinases produced by extremophilic yeasts: from cold environments to the food industry](#), Ed. Mohammed Kuddus, Cristobal Noe Aguilar, Value-Addition in Food Products and Processing Through Enzyme Technology, Academic Press, p.437-452, 2022 ;
- Jacques Dietrich, Jean Guezennec, [Extrémophiles](#), *Encyclopædia Universalis* ;
- [Présentation des biotechnologies](#), Biotech Rouen, Site des enseignants de Biochimie et Génie Biologique, Pôle de compétences TICE & Biotechnologie - Académie de Rouen.

Autres publications récentes du même auteur

- [Matières premières, métaux critiques, terres rares : contexte international et enjeux](#), IESF Côte d'Azur, Bull. n°2, p.12-30 (2022) ;
- [Stockage d'énergie électrique : un regard sur les enjeux et les défis technologiques](#), IESF Côte d'Azur, Bull. n°1, p.10-22 (2022) ;
- [Aperçu des apports des technologies quantiques à la sécurité et à la défense](#). IESF Côte d'Azur, Bull. n°4, p.5-25 (2021) ;
- [Les technologies quantiques. Contexte et enjeux, applications et perspectives](#). IESF Côte d'Azur, Bull. n°2, p.8-29 (2021) ;
- [De la 5G à la 6G : contexte et enjeux !](#) IESF Côte d'Azur, Bull. n°4, p.13-23 (2020) ;
- [Les végétaux doués d'intelligence ? Aspects historiques et philosophiques. Eléments de synthèse des capacités cognitives et des mécanismes. Nouvelles approches bio-robotiques](#). IESF Côte d'Azur, Bull. n°3, p.10-25 (2020) ;
- [Biomimétisme, intelligence artificielle, robotique et applications de l'intelligence en essaim. Cybersécurité et questions d'éthique et de droit](#). Part.2, IESF Côte d'Azur, Bull. n°2, p.7-25 (2020) ;
- [Biomimétisme, intelligence artificielle et robotique. Applications de l'intelligence en essaim et questions d'éthique et de droit](#). Part.1, IESF Côte d'Azur, Bull. n°1, p.2-14 (2020) ;
- [Réflexions sur les enjeux de l'IA et les questions d'éthique](#), IESF Côte d'Azur, Bull. n°3, p.2-7 (2019) ;
- [La cobotique : quand les humains et les robots collaborent](#), IESF Côte d'Azur, Bull. n°2, p.3-7 (2019) ;
- [Les laboratoires de recherche et la sécurité numérique](#), IESF-Côte d'Azur, Bull. n°2, p. 3-5 / Bull. n°3, p. 5-7 (2018).

Jean-Pierre DAMIANO

Ancien ingénieur de recherches ([Université Côte d'Azur CNRS](#))

Membre [IESF-Côte d'Azur](#) et [URSI-France](#)

jean-pierre.damiano@univ-cotedazur.fr

6. JEU MATHÉMATIQUE : SOLUTIONS DU BULLETIN N°2 DE 2022

Voltaire avait-il raison à propos des cabinets noirs ?

À la période classique, on suspectait (à raison !) l'existence d'un cabinet noir qui ouvrait les lettres pour les lire et surveiller ainsi la population. Cette pratique pouvait vous conduire à la Bastille... ou pire...

Pour empêcher la lecture de leurs lettres, un grand nombre de gens les chiffraient afin qu'on ne puisse pas les lire. Le grand sceptique qu'était Voltaire ne croyait pas à la possibilité du décryptement des lettres chiffrées. Pourquoi ? À cause du très grand nombre de possibilités. Il aurait donc parié que vous seriez incapable de décrypter le message :

S2oe2a w45t qm1d2 e5 us4d1e2s4 e2n13o 1t23a2 i25s2t

Question :

Saurez-vous lui donner tort en décryptant ce message ?



François-Marie Arouet dit Voltaire (1724 ou 1725), d'après Nicolas de Largillière, exposé au château de Versailles.
© Collection Palace of Versailles, Wikimedia commons, DP

Hervé Lehning Normalien et agrégé de mathématiques, il a enseigné sa discipline une bonne quarantaine d'années.

Réponse

« Rendez-vous Place du Trocadéro demain à seize heures. »

Voltaire a tort car les décodeurs n'opèrent pas au hasard. Voici une façon de faire dans ce cas :

Le nombre d'occurrences du chiffre 2 fait penser que 2 représente la lettre « e », la lettre la plus fréquente en français (environ 18 %). Cela donne l'idée que les chiffres représentent les voyelles dans l'ordre, puisque « e » est la seconde voyelle. Le second mot w45t est à moitié décrypté. On reconnaît le mot « vous » ce qui fait penser que les consonnes ont été remplacées par la lettre suivante. On en déduit le résultat.

Notre méthode peut sembler peu rigoureuse mais c'est souvent en faisant des hypothèses de ce type qu'on arrive à décrypter. Le fait d'obtenir finalement une phrase ayant un sens prouve que le résultat est correct.

7. JEU MATHÉMATIQUE :

Le calcul de la vitesse moyenne des automobiles

Le calcul de la vitesse moyenne des automobilistes paraît simple à résoudre. Pourtant, mieux vaut réfléchir... En voici deux exemples.

Si vous roulez 100 kilomètres à la vitesse moyenne de 50 km/h puis les 100 kilomètres suivants à la vitesse moyenne de 100 km/h, quelle est votre moyenne sur les 200 kilomètres ? Il semble logique de répondre 75 km/h, la moyenne entre 50 et 100, mais est-ce si sûr ?

Avant de répondre, réfléchissons un peu. L'important est de savoir en combien de temps les 200 kilomètres ont été effectués. La première partie du trajet a demandé deux heures et la seconde une heure, donc le tout trois heures. La vitesse moyenne est donc de $200/3 = 66,66$ km/h soit un peu moins que prévu par un calcul hâtif.

La moyenne que nous avons employée est la moyenne harmonique, différente de la moyenne arithmétique.

Quelle est la vitesse moyenne des deux voitures ?

L'autoroute Paris/Marseille étant découpée en huit tronçons consécutifs de 100 kilomètres chacun, on a relevé les vitesses moyennes de deux voitures (A et B) effectuant ce trajet :

A	50	100	120	130	80	100	120	60
B	60	70	130	130	120	120	130	40

Quelle est la voiture la plus rapide ? Quelle est sa vitesse moyenne ?



Calculer la moyenne des vitesses des automobiles. © Pasja1000, Pixabay, DP

Hervé Lehning Normalien et agrégé de mathématiques, il a enseigné sa discipline une bonne quarantaine d'années.

8. SUDOKU

Complétez la grille avec les chiffres manquants, sachant que chaque colonne, chaque ligne et chacun des neuf carrés doit contenir **une seule fois tous les chiffres de 1 à 9**

La solution sera donnée dans le prochain bulletin

		9						8
						3	5	
		6	9	2				
6					9			4
4	3			5	6	9		
8					7			5
		5	1	4				
						4	1	
		8						6

Solution du Sudoku du dernier bulletin

6	4	5	9	8	3	2	1	7
9	2	1	5	4	7	8	3	6
7	8	3	6	2	1	4	5	9
1	9	6	4	3	5	7	2	8
3	7	4	2	1	8	9	6	5
2	5	8	7	6	9	1	4	3
5	6	7	1	9	4	3	8	2
8	1	2	3	7	6	5	9	4
4	3	9	8	5	2	6	7	1

9. SUR VOTRE AGENDA

Dates	Sujets / événements	Lieux	Organisation
13-16 octobre	Congrès des régions IESF	Grasse	IESF CA
17 novembre de 8h à 21h	Hackathon du « Club des entrepreneurs Pays de Grasse » soutenu par IESF CA. Thème : « 2025, l'industrie écoute la terre »	Grasse	
Prévisionnel Le 21 janvier 2023	Déjeuner associatif annuel	La Guinguette Gaudioise	IESF CA

10. COTISATIONS 2022

ADHÉSION – COTISATIONS 2022 AUX IESF COTE D'AZUR

Cette cotisation vous permet de participer à la formation de notre jeunesse avec le projet « Promotion des Métiers de l'Ingénieur et du Scientifique » PMIS dans les collèges et les lycées, de recevoir notre bulletin trimestriel, d'accéder aux informations sur les activités, conférences et visites organisées par l'IESF Côte d'Azur.

Nous ne pouvons faire fonctionner notre association sans votre aide.

- Pour les membres individuels (actifs et retraités), elle s'élève à 65 €, avec une réduction d'impôt de 66%.
- Pour les groupes régionaux, elle s'élève à 5,40 € par membre cotisant.
- Payer par carte bancaire en cliquant sur le lien suivant : [Payer sa cotisation 2022 sur HelloAsso](#)
- Payer par carte bancaire votre cotisation sur HelloAsso en scannant ce Qrcode



- Ou établir un chèque à l'ordre d'IESF Côte d'Azur
- Ou par virement interbancaire : IBAN FR76 1460 7003 3434 0190 9537 082

Merci.

Si vous ne l'avez déjà fait, il n'est pas trop tard pour devenir membre adhérent des Ingénieurs et Scientifiques de France de la Côte d'Azur (IESF-CA). Il vous suffit de retourner le bulletin ci-dessous accompagné de votre cotisation pour cette année, à l'adresse :

**IESF-CA - Polytech'Nice-Sophia Site Templiers 930 route des Colles - BP 145
06903 - Sophia Antipolis Cedex**

NOM : **Prénom :**

Ecole / Université : **Adresse :**

Code Postal **Ville:** **Courriel :**

Tous nos Bulletins sont disponibles sur le site d'IESF-CA : coteazur.iesf.fr

Conformément à la loi informatique et liberté du 06/01/1978 (art.27), vous disposez d'un droit d'accès et de rectification des données vous concernant. Si vous souhaitez modifier vos coordonnées ou si vous ne désirez plus recevoir de messages électroniques de cet annonceur, envoyez un mail aux IESF-CA :

contact-coteazur@iesf.fr

Responsables des groupes régionaux, faites-nous part des manifestations que vous organisez. Nous les publierons sur le site IESF Côte d'Azur (IESF-CA) pour en informer tous nos adhérents et sympathisants.

Article 18 du Règlement Intérieur : L'Association n'est pas responsable des opinions de ses membres, même dans ses publications.

Siège : Espace Associations Nice Garibaldi - SIRET 810 124 982 000 10

Adresse Postale : IESF-CA Polytech'Nice-Sophia - Site Templiers

930 route des Colles BP 145 -- 06903 – Sophia Antipolis Cedex

Site : coteazur.iesf.fr (www.iesf-ca.fr) Compte Twitter : [@IESF_CA](https://twitter.com/IESF_CA) - Email : contact-coteazur@iesf.fr

Page Facebook : facebook.com/iesfca/