
| RESEARCH ARTICLE

Social Clock and Social Sun as Adaptive Strategies of Human Behavior Without Time Cues and Sunlight in an Underground Environment

Horloge sociale et soleil social comme stratégies d'adaptation du comportement humain à l'absence de temps et de soleil en milieu souterrain

Carole Tafforin¹ ✉ Christian Clot² and Jérémy Roumian³

¹Ph.D. Directrice Scientifique d'Ethospace, Groupe de Recherche et d'Etude en Ethologie Humaine et Spatiale, Toulouse, France

²Explorateur, Fondateur de l'Institut de l'Adaptation Humaine, Marseille, France

³Ph.D. Directeur des Opérations, Institut de l'Adaptation Humaine, Marseille, France

Corresponding Author: Carole Tafforin, **E-mail:** ethospace@orange.fr

| ABSTRACT

Cette action de recherche porte sur l'adaptation multifonctionnelle d'un petit groupe social composé d'hommes et de femmes d'horizons divers vivant en conditions extrêmes. Un milieu anémique est la situation rencontrée durant 40 jours dans des cavités souterraines. Telle se définit la mission DEEP TIME. Dans ce cadre environnemental et expérimental, l'approche éthologique a été mise en œuvre. Elle vise à apporter de la complémentarité et enrichir la connaissance issue des investigations dans le domaine spatial mais aussi de la vaste gamme de situations analogues que sont les milieux confinés et isolés. L'objet premier de l'étude est de suivre jour après jour, cycle après cycle, par des indicateurs comportementaux pertinents au travers d'une description quantitative, la dynamique sociale des « timonautes ».

This research action focuses on the multifunctional adaptation of a small social group composed of men and women from different backgrounds living in extreme conditions. An anomic environment is a situation encountered during 40 days in underground cavities. That is the definition of the DEEP TIME mission. In this environmental and experimental framework, the ethological approach was implemented. It offers complementarity and enriches the knowledge resulting from the investigations in the space domain but also from the wide range of analogous situations that are confined and isolated environments. The first object of the study is to follow day after day, cycle after cycle, relevant behavioral indicators through a quantitative description of the social dynamics of the "timonauts".

| KEYWORDS

Ethologie, méthode, adaptation, environnement, grotte, espace, humanité

Ethology, method, adaptation, environment, cave, space, humanity

| ARTICLE INFORMATION

ACCEPTED: 12 February 2023

PUBLISHED: 02 March 2023

DOI: 10.32996/jhsss.2023.5.3.3

1. Introduction

Un environnement naturel et inhospitalier comme terrain d'étude et de recherche sur l'adaptation du comportement social rassemble des naturalistes tels que les éthologues et les sociologues. Les données d'observations permettent d'incrémenter un modèle multifonctionnel (fonctions physiologique, sensori-motrice, cognitive, psychologique et chronobiologique) qui s'inscrivent alors dans une vision interdisciplinaire. Le regard éthologique porte sur les événements qui émergent de la relation d'un individu (animal ou humain) avec son environnement. Dans le cas de conditions extrêmes choisies pour rendre compte des stratégies adaptatives, cette émergence peut être exacerbée par l'absence d'indicateur du temps et de lumière du soleil. Ces éléments gérant

Copyright: © 2022 the Author(s). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>). Published by Al-Kindi Centre for Research and Development, London, United Kingdom.

la vie sociale pour se synchroniser et fonctionner de manière optimale paraissent fondamentaux. Cela nécessite un haut niveau de coordination sur des terrains opérants (Roumian, 2022). La présente action de recherche pose comme hypothèse de travail qu'un groupe social auto-organisé développe de nouvelles habiletés.

L'innovation de la méthode éthologique dans la problématique de l'adaptation humaine en environnements nouveaux, inhabituels ou extrêmes aboutit aujourd'hui à trente années d'expériences tout terrain couvrant un large panel d'applications en situations réelles et simulées (vols paraboliques, vols orbitaux, immersion en piscine, alitement prolongé, stations polaires, expéditions transpolaires, expériences en caissons multi-modulaires) de missions spatiales de courte et longue durée. Les principes méthodologiques utilisés pour le recueil des données dans le milieu puis l'analyse des résultats au laboratoire relèvent d'une démarche scientifique *in situ, de visu et in toto*.

Le présent article pose les différents jalons :

1. Objectifs de recherche sur l'adaptation
2. De l'espace à la Terre
3. De l'observation à la description quantitative du comportement
4. L'environnement souterrain de la grotte de Lombrives
5. Mise en lumière des résultats éthologiques
6. L'humanité vers d'autres planètes

1. Objectifs de recherche sur l'adaptation

Les questions de recherche portent sur les objectifs suivants :

- Révéler, par des indicateurs comportementaux, une synchronisation sociale comme stratégie d'adaptation à un environnement anémique.
- Rendre compte, par une description quantitative des occurrences comportementales, de l'optimisation de la relation de l'individu et de son environnement social.
- Contribuer à une analyse de l'adaptation multi-système du groupe social.
- Donner des éléments clés d'une adaptation salutogène d'équipes isolées et confinées où le facteur temps impacte les comportements.

2. De l'espace à la Terre

Les applications au milieu spatial, situations analogues et moyens de simulations, bénéficient à l'étude proposée intégrant des disciplines complémentaires. L'éthologie s'associe aux neurosciences cognitives en donnant un regard objectif et exhaustif des comportements définis comme expressions des interrelations entre l'individu et son environnement. Il peut s'agir d'étudier l'explorateur isolé, en mode adaptif, dans un environnement inhospitalier voire des conditions extrêmes, mais aussi d'un groupe d'explorateurs dans ces mêmes conditions, en mode coopératif, de la simple action personnelle à la complexité des interactions sociales. C'est ainsi que les comportements au niveau individuel et interindividuel sont observés et décrits selon des critères voco-mimo-posturo-gestuels et loco-spatio-directionnels. L'éthologie se distingue de la psychologie en se limitant au domaine de l'observable. Il n'y a pas de questionnaires, pas d'échelles de valeurs subjectives, ni d'analyses introspectives. L'éthologie se distingue de la physiologie en élargissant le mode d'investigation à la globalité de l'activité sensori-motrice. Il peut s'agir de la mobilité des segments corporels (tête, bras, buste, jambes, etc.), de la mobilité du corps dans l'espace (déplacements, direction des mouvements, etc.), ou bien des interactions non-verbales et orientations visuelles par rapport aux membres d'un groupe. L'éthologie se distingue alors de la sociologie en élargissant le champ des observations de la relation individus-société à la relation individus-environnement physique, psychologique, culturel, et autres variables situationnelles.

Les résultats issus de recherches sur l'astronaute aux conditions d'un vol spatial ont montré par exemple, que le processus d'adaptation suit une phase de reflexes, puis d'intégration du facteur de microgravité en privilégiant les mouvements de tête, supports de repères visuels, et les changements d'orientation du corps dans les trois dimensions de l'espace, optimisant ainsi ces nouvelles caractéristiques (Tafforin, 1994; 1996; 1999). Les résultats issus de recherches sur les équipages en environnements isolés et confinés ont montré que dans les grands espaces ouverts, les distances interindividuelles sont constantes alors que dans les petits habitats fermés, les distances augmentent, privilégiant l'espace social (Tafforin, 2005; 2015a; 2015b). Dans une dynamique à long terme, les changements comportementaux cycliques et périodiques observés ont montré que ces stratégies adaptatives aident à rompre la monotonie (Tafforin, 2015c). Tout se passe comme si les équipages isolés et confinés modifiaient la durée des actions et interactions afin de changer le rythme imposé par les tâches répétitives pour un bien-être de vie mais aussi nécessaire à la survie. Le temps est ainsi réorganisé.

Les récents résultats relatifs aux futures missions d'exploration spatiale montrent que l'adaptation salutogène est favorisée par une variation des comportements en fonction de nouveaux rythmes, référentiels et rituels (Tafforin, 2020a), en fonction des

environnements (Tafforin, 2021), en fonction des événements (Tafforin, 2022) et en fonction des caractéristiques de l'équipage. Par exemple, l'impact positif de la mixité de genre et de culture est décrit par des comportements expressifs et communicatifs chez les sujets féminins et des comportements moins actifs mais plus interactifs chez les sujets masculins (Tafforin, 2020b), contribuant ainsi au succès de la mission.

Le large éventail des paradigmes expérimentaux où ces études et recherches ont été conduites en Europe (campagnes ISEMSI, EXEMSI, HUBES), en Arctique (expédition TARA), en Antarctique (isolements à Port-au-Français, Dumont d'Urville, Concordia), en Chine (CELSS-180) et en Russie (confinements MARS-500 et SIRIUS) s'inscrivent dans les scénarios de missions habitées plus loin dans l'espace et le temps. Au-delà du temps, la mission DEEP TIME offre un milieu naturel (grotte de Lombrives, France) où une équipe mixte, âgée de 30 à 50 ans, composée de 7 femmes et 8 hommes (dont l'explorateur-leader Christian Clot) aux qualités diversifiées (professions, expériences, motivations, personnalités) choisit de vivre comme un groupe confiné et isolé sous terre, sans marqueur temporel et lumière solaire pendant 40 jours (Clot, Roumian & Besnard, 2022).

3. De l'observation à la description quantitative du comportement

La méthode mise en œuvre est basée sur l'observation, la description et la quantification du comportement moteur et spatial spontané du sujet dans les situations de la vie quotidienne, de tâches professionnelles ou de tests expérimentaux (Tafforin & Gerebtzoff, 2010). Une telle analyse ne s'intéresse pas seulement au résultat du comportement, à la performance, mais aussi à la succession des événements qui y conduisent, c'est-à-dire aux stratégies comportementales. Elles peuvent être étudiées en fonction du temps (minutes, heures, jours, mois) ou dans une chronologie d'événements sélectionnés (périodes, situations, incidents) pour une analyse longitudinale mais aussi en fonction des environnements (lieux d'entraînement et lieux de missions, conditions de vie habituelles et conditions de vie inhabituelles) ou des individus (genre, culture, expérience, fonction) pour des analyses transversales.

L'étape d'observation consiste à définir les modalités du recueil des données par enregistrements vidéo (flux comportemental), vues photographiques (relevés cartographiques), fiches informatiques (relevés temporels) ou éthogramme (grilles d'observation). Pour DEEP TIME, l'outil méthodologique a été idéal du fait du fonctionnement continu (sur 40 jours) de deux caméras croisées couvrant la situation d'observation choisie (galerie du cimetière dans la grotte de Lombrives).

L'étape de description consiste généralement à définir des catégories comportementales en termes d'actions personnelles (mouvements, postures, déplacements, etc.) d'expressions personnelles (faciales, collatérales, etc.) et d'actions interpersonnelles (interactions non-verbales, communications verbales, etc.), puis à l'encodage de leur occurrence en fonction du temps. Chaque unité codée est associée à une adresse temporelle (00h00mn00s). Ce sont des événements d'état (avec une durée) ou des événements ponctuels (<3s.). La précision d'observation peut être à l'échelle de la seconde. Cela définit le mode dynamique. En mode statique, le positionnement des sujets dans l'espace d'observation est relevé en référence géocentrique (par rapport aux axes directionnels d'un plan ou d'éléments délimitant une zone), en référence allocentrique (par rapport aux autres sujets) et en référence égocentrique (par rapport à l'axe corporel du sujet). Cela donne les indications de positions, de présences, et d'orientations choisies pour DEEP TIME.

L'étape de quantification consiste à calculer les fréquences absolues, les fréquences relatives d'apparition des unités de comportement des répertoires (histogramme), ainsi que leurs fréquences de transition ou d'association. Elle peut être complétée de la fréquence des passages dans une zone (éthographe). Pour DEEP TIME, les relevés ont été faits suivant des plages horaires ou suivant des intervalles de temps de une heure jusqu'à une précision par minute.

Cette méthode se différencie de l'éthnographie (Buscato, 2012) par la limitation au domaine de l'observable, objectif et non-invasif, sans intervention de l'observateur qui analyse les enregistrements vidéos en différé. Le groupe social étudié était ainsi en complet isolement du monde extérieur.

4. L'environnement souterrain de la grotte de Lombrives

La grotte Française de Lombrives située en Occitanie, à Ussat en Ariège (France) offre un paradigme exceptionnel à une mission scientifique en immersion. La base souterraine aménagée pour l'étude est disposée en 6 zones (Figure 1). La zone de vie éclairée par un ballon lumineux (1) favorisait un espace collectif avec des tâches quotidiennes telles que la cuisine, les repas, les loisirs, les discussions et des tâches plus spécifiques telles que la préparation des activités spéléologiques. Ce fût la situation d'observation éthologique filmée par les deux caméras fonctionnant en détection de mouvement (24h/24, 7j/7). La zone de mesures scientifiques (2) dans une cabine fermée abritait les dispositifs informatiques. La zone de sommeil (3) comme espace de silence favorisait un rythme propre à chaque individu. L'espace de parole (4) favorisait l'isolement et l'expression personnelle filmée par une micro-caméra. Le sas d'échange (5) permettait le dépôt puis l'évacuation des déchets sans contact vers l'extérieur. Les toilettes sèches et sanitaires d'eau froide (6) complétaient les installations.

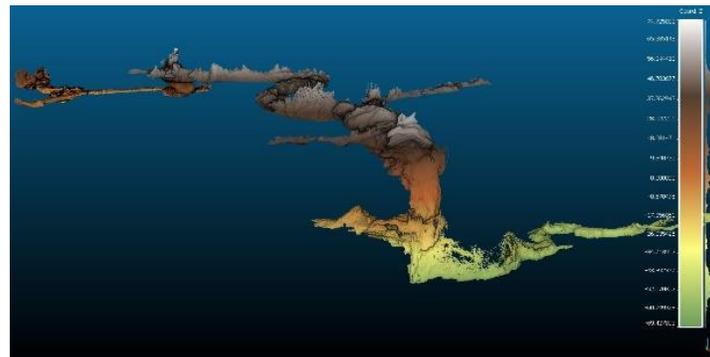
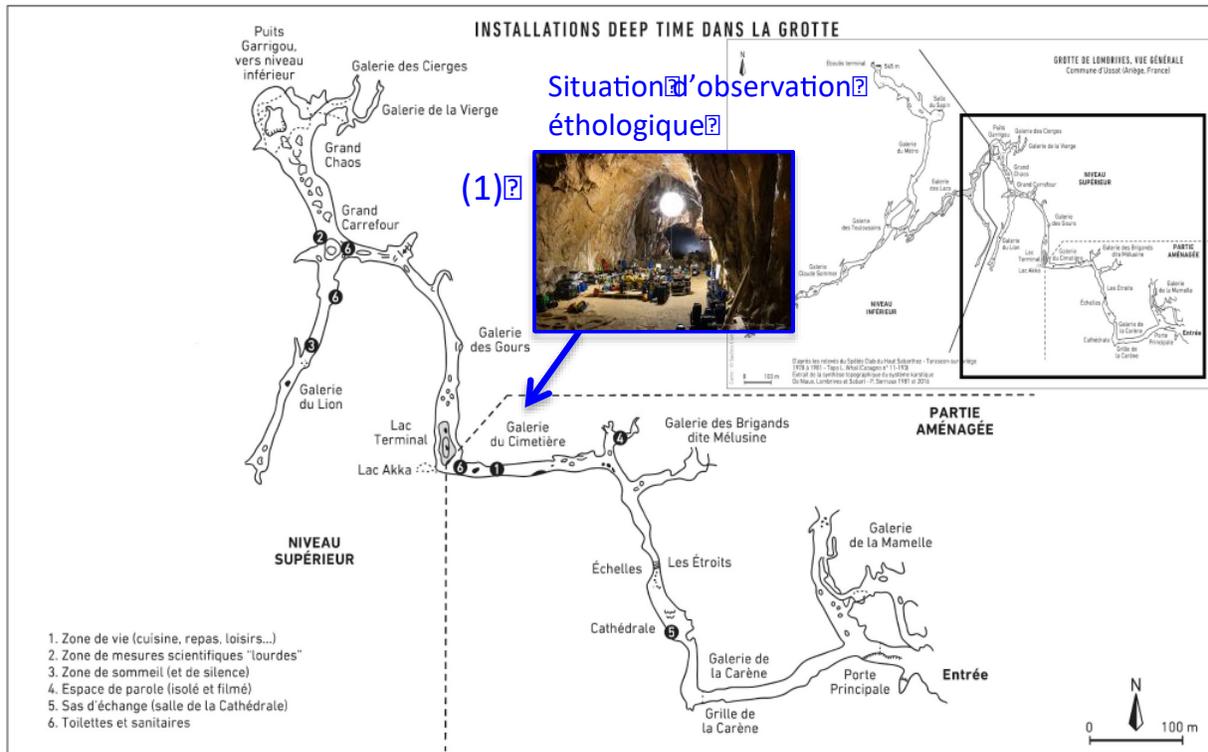


Figure 1. Carte géographique (crédit: Speleo Club du Haut Sabarthez/Clot revue par EdiCarto) et réseau inférieur de la grotte de Lombrives (crédit: Nicole Hueber / Patrick Sorriaux / Christian Clot).

Les 40 jours de la mission DEEP TIME se sont déroulés du dimanche 14 mars 2021 à 20:00 au jeudi 22 avril 2021 à 20:00, qui totalisent 960 heures d'absence de temps calendaire et de lumière solaire. La sortie de la grotte à la lumière extérieure a eu lieu au matin du 24 avril 2021. Les sujets (n=15) ont donné leur consentement éclairé pour la méthodologie dans son ensemble.

Les protocoles d'analyse des enregistrements vidéo ont été délimités dans le but de rendre compte des changements du comportement social suivant un processus temporel en références au temps intérieur et au temps extérieur. Dans le protocole C, on compte 6 cycles théoriques qui sont les plages horaires des mercredis 20:00 aux jeudis 20:00, soient 6 semaines. Le cycle théorique 6 coïncide avec les dernières 24 heures de la mission (Jour 40). Les cycles personnels sont notés par chaque sujet entre deux réveils. Dans le protocole G, on suit la globalité de la mission en jours réels du dimanche 14 mars 2021 à 20:00 au jeudi 22 avril 2021 à 20:00 (G40 = Jour 40).

5. Mise en lumière des résultats éthologiques

Le traitement de l'ensemble des données d'observations est présenté sous la forme d'histogrammes comparatifs d'occurrences, de présences, de fréquences et de durées des événements relevés (orientations sociales, présences sociales, positions sociales,

activation et désactivation du ballon lumineux). Ils sont ainsi décrits quantitativement pour une interprétation éthologique des résultats.

5.1 Horloge sociale

Les orientations sociales relevées correspondent au nombre de co-équipiers dans le champ visuel rectiligne d'un sujet, chaque heure dans la zone de vie par cycle (Σ 25 points temporels x Σ sujets observés). En comparant les occurrences globales (Figure 2) sur les 6 semaines, on observe deux périodes avec un point de différence significative à mi-parcours, du plus grand nombre d'orientations sociales au cycle théorique 3 versus le plus petit nombre au cycle théorique 4. La première semaine (cycle théorique 1) est la donnée de base compte tenu de la présence de quatre personnes extérieures à l'équipe. Ce résultat montre une **dynamique sociale** ascendante de trois semaines, avec un retour au niveau de base à la sixième semaine (cycle théorique 6).

« Après l'intensité désordonnée des premiers cycles et une apathie peu productive des cycles suivants, génératrice de fort décalage, nous voici dans un troisième temps, dans une synchronicité qui permet des actions communes » (Clot, 2021, p. 186)

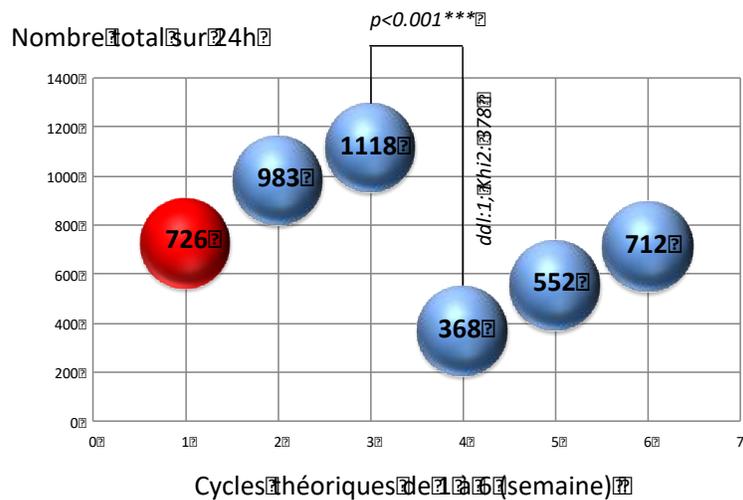


Figure 2. Orientations sociales globales.

La description quantitative des orientations sociales cycle après cycle est interprétée comme suit :

Au cycle théorique 1 (72 heures après le début de la mission), on observe une augmentation des orientations sociales dans 3 tranches horaires relativement similaires à celles d'une journée standard, comme si il y avait la connaissance du temps, correspondant au « soir » (21:00), « petit matin » (04:00) et « fin d'après-midi » (17:00). Du fait possible d'artéfact de 4 personnes extérieures au groupe, ce cycle est considéré comme témoin. Il apparaîtrait cependant un premier décalage avec une longue phase d'absence d'activité sociale d'une durée de 7 heures (entre 08:00 et 15:00).

Au cycle théorique 2 (après 10 jours), les orientations sociales se répartissent en deux temps, d'une plage horaire à faible activité sociale durant 14 heures (20:00 à 10:00) à une plage horaire à activité sociale croissante durant 10 heures (11:00 à 20:00). On observe un point culminant (= 150 par heure) à 19:00 montrant que l'équipe privilégierait ce temps social comme vestige temporel d'un « soir » en temps réel. Ceci pourrait être lié à une mémoire cognitive, un rythme intrinsèque.

Au cycle théorique 3 (après 17 jours), on observe un premier profil de variation des orientations sociales au plus fort niveau (= 180 par heure) à 02:00, avec une absence complète d'activité sociale durant 7 heures continues (13:00 à 20:00). Cela pourrait être un temps de sommeil « synchronisé » de l'équipe, ou bien des activités individuelles ou de co-équipiers hors de la zone de vie.

Au cycle théorique 4 (après 24 jours), on observe une dilution de l'activité sociale, avec un seul pic temporel à 13:00 de faible niveau (= 66 par heure) indiquant un comportement social à minima, tout en diminuant la durée continue de 5 heures d'inactivité sociale dans la zone de vie collective (23:00 à 04:00). Dans le temps écoulé de la mission, cela pourrait être une phase préalable à la synchronisation propre de l'équipe.

Au cycle théorique 5 (après 31 jours), on observe un profil de variation des orientations sociales qui ne correspond plus aux tranches horaires majeures « matin », « midi », « soir » mais un rythme de petites séquences d'activité sociale d'environ 4 à 6 heures d'intervalle (22:00 à 02:00; 02:00 à 06:00; 06:00 à 12:00; 12:00 à 17:00).

Au cycle théorique 6 (24 heures avant la fin de la mission), on observe un même profil de variation des orientations sociales qu'au cycle théorique 5, avec un rythme moins régulier de petites séquences d'activité sociale alternant des intervalles de 3 heures (01:00 à 04:00), de 6 heures (04:00 à 10:00), de 2 heures (10:00 à 12:00) et 6 heures (12:00 à 18:00). Tout se passe comme si l'équipage adaptait son comportement social de plus forte fréquence mais de plus faible occurrence (< 90 par heure). Il apparaît donc que l'horloge sociale s'inscrit dans une variation temporelle à l'image de rendez-vous visuels avec les co-équipiers, de manière plus ou moins régulière mais nécessaire pour garder un rythme de vie collective dans la zone aménagée à cet effet. Cette stratégie comportementale permet de ne pas se désynchroniser complètement dans le temps et de ne pas s'isoler complètement dans l'espace, gardant ainsi une imprégnation sociale qui contribuerait au fonctionnement de l'équipe.

Les présences sociales relevées correspondent au nombre de co-équipiers présents chaque heure dans la zone de vie par cycle (Σ 25 points temporels). En comparant les occurrences globales suivant la dynamique des 6 cycles (Figure 3), on observe le plus grand nombre de présents dans la première période de la mission au même niveau (cycle 2= 162; cycle 3= 163). Ce résultat montre le maintien d'une activité sociale globale importante dans le processus d'adaptation, plus forte même qu'au cycle théorique de base (cycle 1= 135). Il se confirme ensuite une chute significative de présence sociale à mi-parcours avec une progression à nouveau dans la deuxième période, similaire aux occurrences d'orientations sociales.

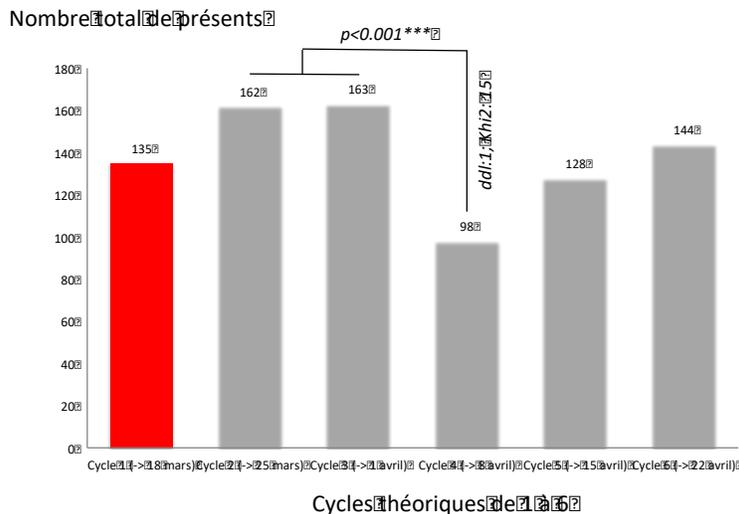


Figure 3. Présence sociale globale.

La description quantitative des présences sociales semaine après semaine calendaire est présentée en fonction du temps (heure de relevé) dans la zone de vie par cycle théorique (Point 1 : mercredi 20:00 au point 25: jeudi 20:00). Ce résultat montre des variations sur les 24 heures d'observation (Figure 4). La présence complète des co-équipiers (= 15) est plus fréquemment observée en début de mission (cycle 1 et 2), puis une dispersion sociale apparaît durant les autres cycles. En association avec les repérages visuels et les orientations sociales, ces niveaux variés de présences sociales pourraient favoriser des **repérages présentsiels**.

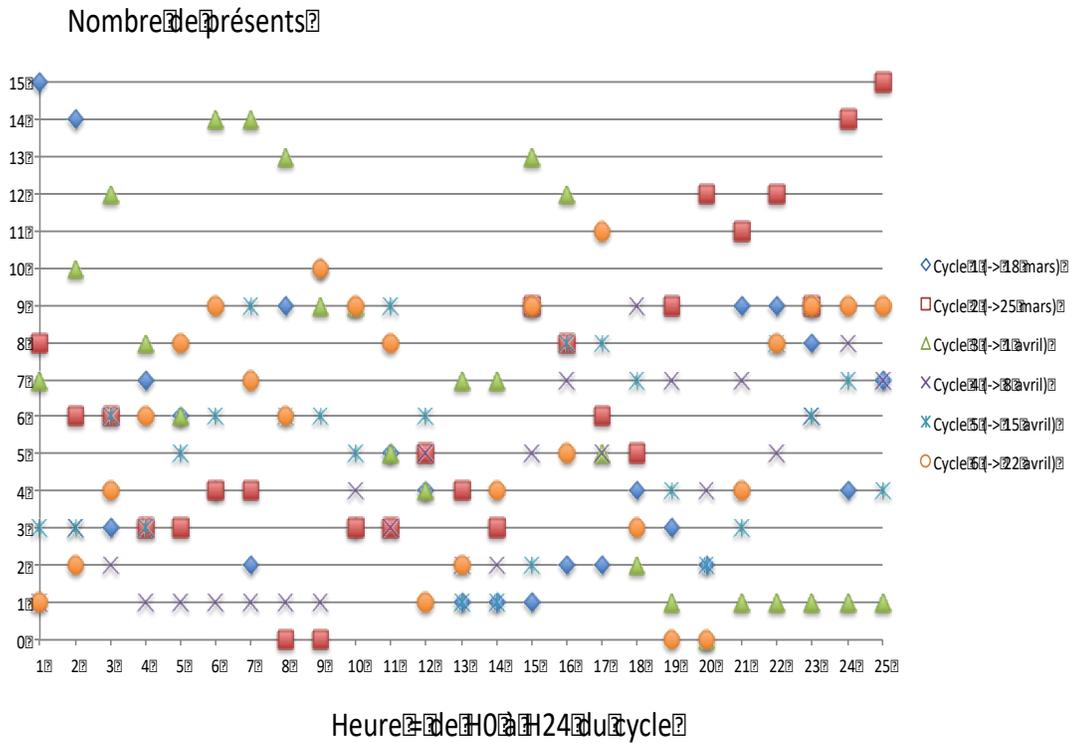


Figure 4. Présence sociale par cycle théorique de 24 heures.

Les positions sociales relevées correspondent au nombre d'individus assis chaque minute aux tables de la zone de vie au cycle 6 (dernières 24 heures de la mission). En suivant minute après minute le nombre total (Figure 5), on observe que le partage des tâches de la vie quotidienne et collective assis autour d'une table (pour repas, loisir, discussion, etc.) suit les mêmes ondulations que les profils de présences et des orientations. Ce résultat confirme que les tranches horaires majeures « matin », « midi », « soir » sont remplacées par des tranches horaires mineures mais plus fréquentes comme si l'équipe procédait à une **réactivation collective** presque continue puisque on observe l'absence complète de positions sociales sur une durée de moins de 3 heures (12:59 à 15:56).

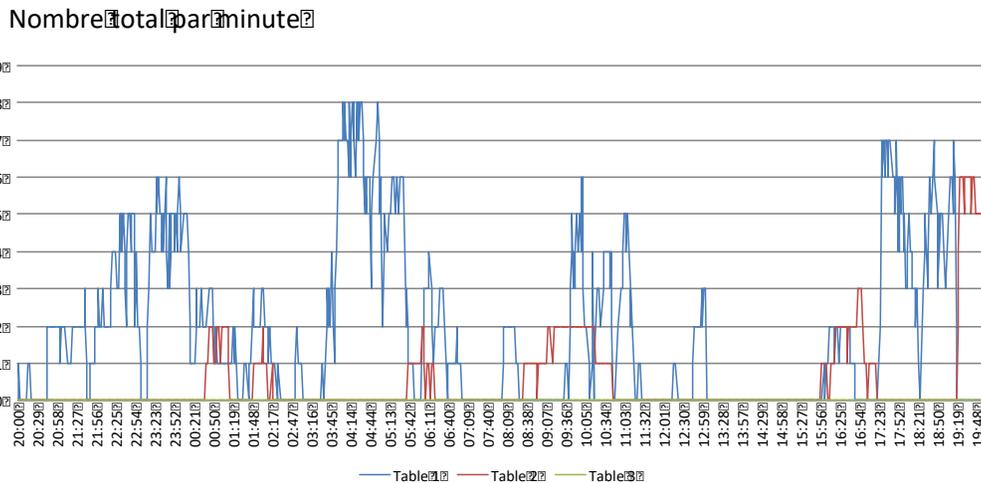
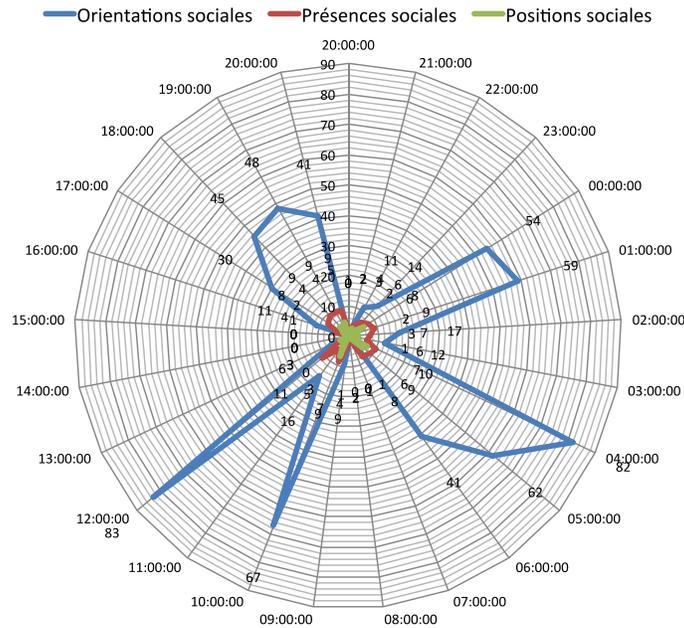


Figure 5. Positions sociales (24h durant le Jour 40).

En combinant les trois indicateurs comportementaux (orientations sociales, présences sociales et positions sociales) durant le Jour 40 de la mission avant la reprise du temps donnée par l'arrivée de l'équipe de surface, on inscrit « l'horloge externe sociale » dans le cadre de l'horloge interne circadienne. Les coéquipiers s'adaptent par des repérages visuels (orientations sociales), des

repérages présents (présences sociales) et des réactivations collectives (positions sociales) comme stratégies comportementales qui compensent l'absence de repères temporels et contribuent à la fonctionnalité du groupe (Conclusion 1).



Conclusion I. Horloge sociale (24h durant le Jour 40).

5.2. Soleil social

La zone de vie est éclairée pleinement par le ballon lumineux qui peut être activé ou désactivé suivant la présence ou non des co-équipiers. Cela favorise des activités collectives. La valeur médiane (« Bosk et Wisker plot » = boîte à moustache) du nombre d'activations en fonction de la présence des co-équipiers (Figure 6) montre que lorsque le groupe est au nombre de 6, cet éclairage artificiel est activé et lorsque le groupe est au nombre de 4, il est désactivé.

« Au début, avec les travaux et l'organisation à mettre en place, la boule illuminait les lieux dès la première personne arrivée. Avec nos décalages de plus en plus importants, elle a fini par être constamment en fonction. Pour réduire la charge, j'ai alors imposé qu'elle ne soit allumée que lorsque au moins trois personnes étaient présentes, et si la majorité était en faveur de cette décision. » (Clot, 2021, p. 134)

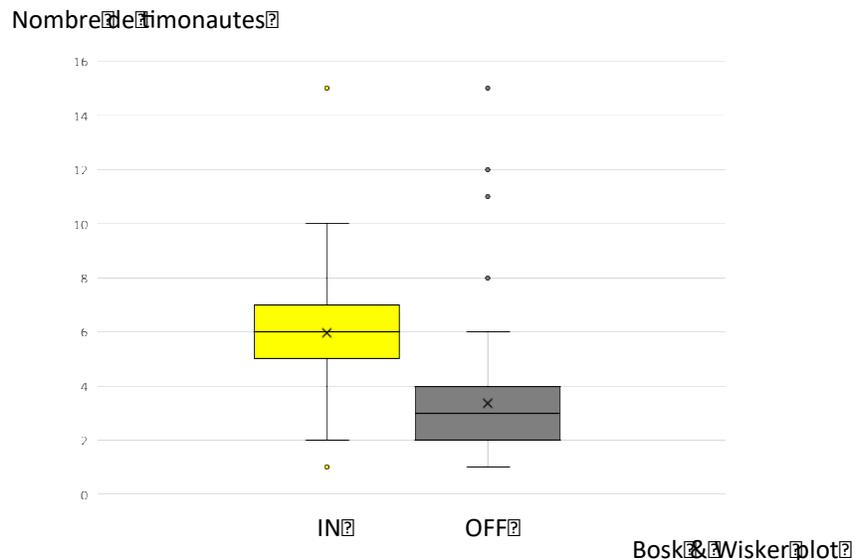


Figure 6. Lumière IN & OFF suivant présence.

La somme des durées de **lumière sociale** (zone de vie éclairée par le ballon lumineux activé ou désactivé par les co-équipiers) sur les 40 jours donne les proportions totales à l'intérieur comparativement à l'extérieur (Figure 7). Sur 960 heures passées dans la grotte, les sujets ont été 649 heures dans la lumière et 312 heures dans l'ombre, soient 68% versus 32%. En référence à la vie extérieure par l'alternance jour/nuit, ce résultat montre que le choix de vie dans la lumière est privilégié. Le jour d'entrée dans la grotte, l'ensoleillement était en deçà de l'équinoxe (< 50%).

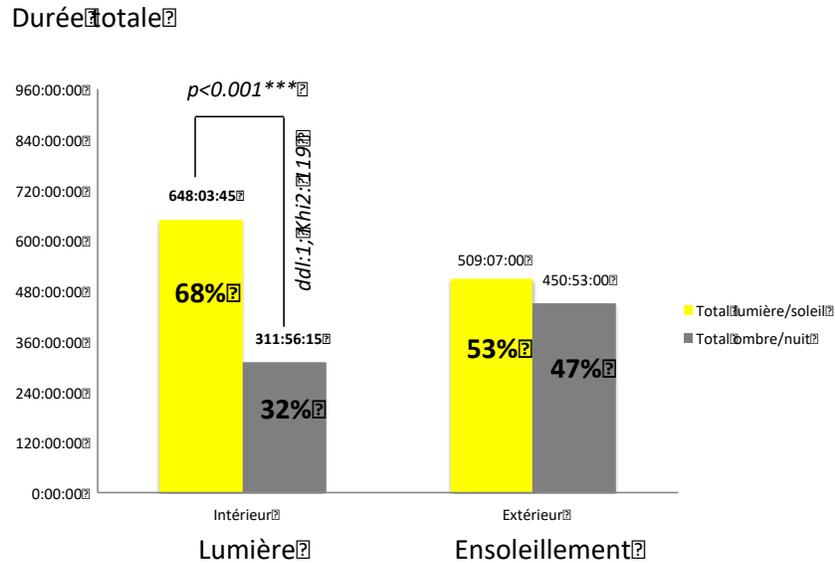


Figure 7. Lumière sociale globale dans la grotte et ensoleillement à Foix (Sud France) du printemps 2021 (Σ du 14 mars au 22 avril; 14 mars = 11h47 d'ensoleillement).

La comparaison des durées de lumière sociale par jour calendaire (dimanche 14 mars 2021 au jeudi 22 avril 2021) montre une irrégularité sur toute la durée de la mission (Figure 8). La zone de vie est par exemple dans la lumière durant 24 heures pour G5, G12 et G37, comme si l'activité sociale y était permanente. On note que à mi-parcours de la mission, la lumière sociale est de plus courte durée à G18 et G22.

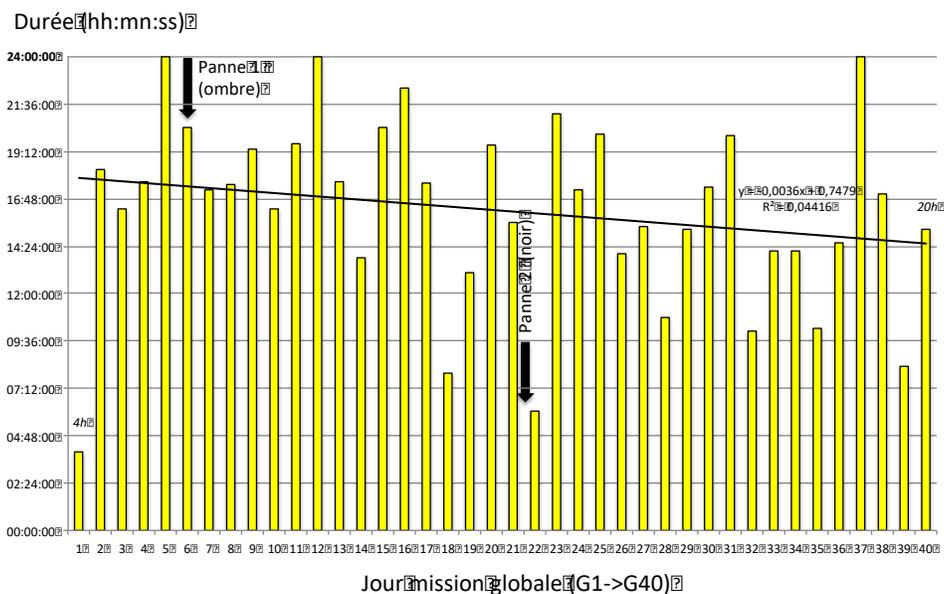
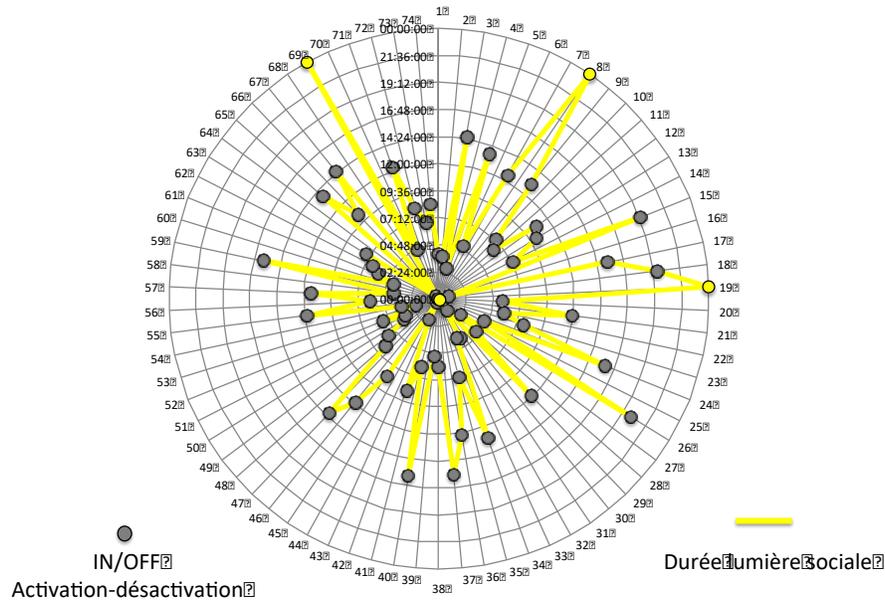


Figure 8. Lumière sociale par jour.

Globalement, en considérant que l'activation du ballon correspond à un lever de soleil et sa désactivation à un coucher de soleil, on compte 70 (exclus le point initial et les 3 points supérieurs à 24 heures) levers et couchers de soleil social à l'intérieur alors qu'il y a 40 levers et couchers de soleil réel à l'extérieur. Sur toute la durée de la mission, ce résultat montre une alternance des périodes

de lumière sociale qui n'a plus de référence au rythme jour/nuit de l'ensoleillement naturel mais à la fréquence « activé/désactivé » volontaire. Les co-équipiers seraient alors immergés sous ce soleil social pour leur activité collective dans la zone de vie (Conclusion II).



Conclusion II. Soleil social (960h - Jour 1 à Jour 40).

6. L'humanité vers d'autres planètes

Dans des paradigmes futurs en vues de missions sur la Lune (Moon village), de missions vers Mars et de missions d'exploration de l'univers par l'homme (Deep Space), les équipages confinés et isolés sont le point de mire. Des corrélations de la vie en souterrain pourront être faites avec le concept d'habitat lunaire sous des dômes de protection des rayonnements solaires. Si le spationaute à bord de la Station Spatiale Internationale (ISS) voit 16 levers de soleil par 24 heures, les voyageurs interplanétaires s'éloigneront au contraire de l'alternance jour/nuit rythmée sur Terre pour trouver une période de révolution de 24 heures 39 minutes et 35 secondes (24,65 h) sur Mars. Dans la grotte, les marqueurs chronobiologiques ont montré une désynchronisation des cycles individuels systématiquement supérieurs à 24 heures, avec un ratio temps d'éveil sur temps de sommeil relativement stable (Mauvieux et al., 2022). Des corrélations de la vie dans un autre espace et temps sont alors à considérer.

Un exemple de recherche sur l'impact de la désynchronisation circadienne en vol spatial montre des erreurs de performance humaine également conséquentes de la charge de travail, fatigue et déficit de sommeil (Whitmire et al., 2009). Ce dernier est associé aux fonctions neurobiologiques dégradées et au stress élevé pour des missions de longue durée, six mois à bord de l'ISS (Jones et al., 2022). Une revue des recherches sur l'influence de l'environnement Martien sur l'horloge circadienne et les stratégies pour améliorer son adaptation montre que l'entraînement à une illumination additionnelle manuelle sous une luminosité modérée est une bonne contremesure à la synchronisation périodique sur Mars (Luo et al., 2022). Qualitativement, le spectre de couleur jaune en environnement spatial améliore la qualité de l'habitabilité (Jiang et al., 2020). Ainsi, le milieu naturel d'une grotte, sans ensoleillement mais avec une lumière similaire, et ses conséquences chronobiologiques et comportementales se positionne comme situation analogue à l'exploration spatiale (Bessone, De Waele & Sauro, 2017). Dans cette visée, un programme d'entraînement appelé CAVES (Cooperative Adventure for Valuing and Exercising human behavior and performance Skills) a été expérimenté par des astronautes, cosmonautes et taikonautes (des agences spatiales Européenne, Américaine, Canadienne, Russe, Japonaise et Chinoise) qui ont validé l'opportunité de cette plateforme d'expédition spéléologique pour le milieu spatial (Sauro et al., 2021).

Les faits saillants de l'étude dans la grotte de Lombrives montrent que les comportements majeurs sont des repérages visuels et repérages présentsiels qui favorisent de nouveaux repères, des réactivations collectives qui privilégient de nouveaux rituels et une alternance active d'ombre et lumière qui donne un nouveau rythme. Cela confirme une adaptation 3R-Repère-Rythme-Rituel observée chez les spationautes (Tafforin, 2020a).

Les « timonautes » se sont ainsi adaptés de façon salutogène car DEEP TIME s'est conclue par une mission réussie. Il est à considérer que les qualités intrinsèques de l'équipe œuvrent en ce sens, de par la sélection, la préparation et l'exécution d'une expédition. Les co-équipiers s'enrichiraient dans la diversité du groupe composé d'hommes, de femmes, d'expériences différentes et d'activités spécifiques, contre les conflits. Les co-équipiers se ressourciraient dans le divertissement culturel, sportif, ludique mais aussi contemplatif de l'environnement exploré, contre la monotonie. Les co-équipiers assureraient leur sécurité et les tâches vitales dans la dépendance les uns des autres, pour une autonomie. Le fonctionnement social est ainsi accompli.

Une communauté humaine auto-organisée utiliserait alors un système 3D-Diversité-Divertissement-Dépendance qui est à mettre en perspective dans d'autres terrains d'exploration sur la surface terrestre et au-delà.

Conflit d'intérêt : Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêt.

Remerciements : Les co-équipiers de la mission DEEP TIME, cis-nommés "timonautes".

Cette recherche est associée au CPP #2021-A00474-37 Comité de Protection des Personnes (Research Ethics Committee), et a reçu le support opérationnel et financier de l'Institut de l'Adaptation Humaine (Human Adaptation Institute), France.

Références

- [1] Bessone, L., De Waele, J. & Sauro, F. (2017). Speleology as an analogue to space exploration: five years of astronaut training, testing and operations in the ESA CAVES Program, *Proceeding of the 17th International Congress of Speleology*, Sydney, Australia.
- [2] Buscatto, M. (2012). Des « études de cas » aux généralisations fondées. *Pour une ethnographie ambitieuse*, SociologieS, La recherche en actes, mise en ligne le 09 mai 2012.
[DOI : 10.4000/sociologies.3939](https://doi.org/10.4000/sociologies.3939)
- [3] Clot, C. (2021). Deep Time - 40 jours sous terre. Robert Laffont.
- [4] Clot, C., Roumian, J. & Besnard, S. (2022). Deep Time, méthodologie pour une expérience hors du temps?, *Proceeding of the 18th International Congress of Speleology*. UIS 2022, Savoie Mont-Blanc, France.
- [5] Jiang, A., Yao, X., Schlacht, I.L., Misso, G., Tang, T., & Westland, S. (2020). Habitability study on space station colour design. In N. Stanton (Ed.), *Advances in Human Aspects of transportation. AHFE 2020: Advances in Intelligent Systems and Computing* (vol. 1212, pp. 507-514). Springer.
[DOI: 10.1007/978-3-030-50943-9_64](https://doi.org/10.1007/978-3-030-50943-9_64)
- [6] Jones, W.J., Basner, M., Mollicone, D.J., Mott, C.M. & Dinges, D.F. (2022). Sleep deficiency in spaceflight is associated with degraded neurobiological functions and elevated stress in astronauts on six-month missions aboard the International Space Station, *Sleep*, 45(3), 1-9.
[DOI : 10.1093/sleep/zsac006](https://doi.org/10.1093/sleep/zsac006)
- [7] Luo, R., Huang, Y., Ma, H. & Guo, J. (2022). How to live on Mars with a proper circadian clock? *Frontiers in Astronomy and Space Sciences*, 8, 796949.
[DOI : 10.3389/fspas.2021.796943](https://doi.org/10.3389/fspas.2021.796943)
- [8] Mauvieux, B., Delaunay, P.L., Hingrand, C., Besnard, S. & Clot, C. (2021). Rythme veille/sommeil d'un groupe de 15 personnes isolées dans une grotte pendant 40 jours: Mission Deep Time, *Médecine du Sommeil*, 18(4), 190-191.
[DOI: 10.1016/j.msom.2021.10.016](https://doi.org/10.1016/j.msom.2021.10.016)
- [9] Roumian, R. (2022). La coordination logistique d'une équipe en situation extrême de gestion: une approche par la théorie de la structuration. Thèse doctorale soutenue le 14 décembre 2022, Université Paris Panthéon-Assas.
- [10] Sauro, F., De Waele, J., Payler, S., Vattano, M., Sauro, F.M., Turchi, L. & Bessone, L. (2021). Speleology as an analogue to space exploration: The ESA CAVES training programme, *Acta Astronautica*, 184, 150-166.
[DOI : 10.1016/j.actaastro.2021.04.003](https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2021.04.003)
- [11] Tafforin, C. (1994). Synthesis of ethological studies on behavioral adaptation of the astronaut to space flight conditions, *Acta Astronautica*, 32(2), 131-142.
- [12] Tafforin, C. (1996). Initial moments of adaptation to microgravity of human orientation behavior, in parabolic flight conditions, *Acta Astronautica*, 38 (12), 963-971.
- [13] Tafforin, C. (1999). Human Ethology in Extreme Settings: from the individual in orbital flight to a small group in polar base, *Human Ethology Bulletin*, 14(1), 5-7.
- [14] Tafforin, C. (2005). Ethological indicators of isolated and confined teams in the perspective of Mars missions, *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 76(11), 1083-1087.
- [15] Tafforin, C. & Gerebtzoff, D. (2010). A software-based solution for research in space ethology, *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 81(10), 951-956.
[DOI : 10.3357/ASEM.2780.2010](https://doi.org/10.3357/ASEM.2780.2010)
- [16] Tafforin, C. (2013). The MARS-500 crew in daily life activities: An ethological study, *Acta Astronautica*, 91, 69-76.
[DOI : 10.1016/j.actaastro.2013.05.001](https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2013.05.001)
- [17] Tafforin, C. (2015a). Behavior, isolation and confinement. In D. Beysens & J. Van Loon (Eds), *Generation and application of extra-terrestrial environment on Earth* (vol. 6, pp. 265-271). River Publishers Book.
- [18] Tafforin, C. (2015b). Confinement vs. isolation as analogue environments for Mars missions from a human ethology viewpoint, *Aerospace Medicine and Human Performance* 86(2), 131-135.
[DOI: 10.3357/AMHP.4100.2015](https://doi.org/10.3357/AMHP.4100.2015)
- [19] Tafforin, C. (2015c). Comparison of spatial-temporal adaptive indicators in isolated and confined teams during the Concordia stay, Tara drift and MARS-500 experiment, *Journal of Human Performance in Extreme Environments*, 12(1), on-line.

[DOI: 10.7771/2327-2937.1062](https://doi.org/10.7771/2327-2937.1062)

- [20] Tafforin, C. (2020a). Humans' 3R-adaptation for space colonization, *Journal of Humanities and Social Sciences Studies*, 2(1), 10-14.
<https://al-kindipublisher.com/index.php/jhsss/article/view/275>
- [21] Tafforin, C. (2020b). Behaviors of a mixed gender and culture group during a 4-month confinement (SIRIUS-19). *Antrocom Journal of Anthropology*, 16(1), 5-19.
<http://www.antrocom.net/upload/sub/antrocom/160120/01-Antrocom.pdf>
- [22] Tafforin, C. (2021). Collateral actions-to-facial expressions ratio as indicator of adaptation to confinement, *SF Journal of Aviation and Aeronautical Sciences*, 3(1), 1015.
<https://scienceforecastoa.com/Articles/SJAAS-V3-E1-1015.pdf>
- [23] Tafforin, C. (2022). 120-day simulation of a Moon mission (SIRIUS-19): context of behavioral occurrences, *Human Ethology*, 37, 22-29.
[DOI: 10.22330/he/37/008-015](https://doi.org/10.22330/he/37/008-015)
- [24] Whitmire, A.M., Leveton, L.B., Barger, L., Brainard, G., Dinges, D., Klerman, E. & Shea, C. (2009). Risk of performance errors due to sleep loss, circadian desynchronization, fatigue and workload, *Human Research Program Requirements Document*, Review NASA: Huston, HPR-47052, 85-116.