UNIVERSITÉ DE LORRAINE | BIBLIOTHÈQUES UNIVERSITAIRES

AVERTISSEMENT
DROIT D'AUTEUR

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document. Toute contrefaçon, plagiat ou reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact bibliothèque : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr
(Cette adresse ne permet pas de contacter les auteurs)

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

UNIVERSITÉ DE LORRAINE
34 COURS LÉOPOLD — CS 25233
54052 NANCY CEDEX
WWW.UNIV-LORRAINE.FR

École Doctorale Sociétés, Langages,
Temps, Connaissances (SLTC)
Laboratoire Lorrain de Psychologie et Neurosciences
de la Dynamique des Comportements (2LPN)

THESE

Présentée et soutenue publiquement pour l'obtention du titre de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE LORRAINE

Mention : PSYCHOLOGIE

par Jean PAULY

Mesure et suivi des états affectifs en conditions analogues à une mission spatiale de longue durée

Vendredi 12 décembre 2025

Membres du jury :

Présidente de jury	**Pr Elisabeth ROSNET**	**Université de Reims Champagne-Ardenne, Reims**
Directeurs de thèse :	**Pr Benoît BOLMONT**	**Université de Lorraine, directeur de thèse**
	Pr Cécile LANGLET	**Université de Lorraine, co-directrice de thèse**
Rapporteur.e.s :	**Pr Michel NICOLAS**	**Université de Bourgogne Franche-Comté, Dijon**
	Pr Karine WEISS	**Nîmes Université, Nîmes**
Examinatrices :	**Dr Aurélie COLLADO**	**Université des Antilles, Pointe-à-Pitre**
	Pr Elisabeth ROSNET	**Université de Reims Champagne-Ardenne, Reims**

Engagement à l'intégrité scientifique

« En application de l'article L.612-7 du code de l'éducation, les établissements d'enseignement supérieur et de recherche mettent en œuvre, dans le cadre des soutenances de leurs doctorantes et doctorants, une prestation de serment d'intégrité scientifique. »

> « La loi n° 2020-1674 du 24 décembre 2020 (dite LPR) introduit le serment dans le code de l'éducation, à l'article L. 612-7 : « À l'issue de la soutenance de la thèse, le candidat doit prêter serment en s'engageant à respecter les principes et les exigences de l'intégrité scientifique, dans des conditions fixées par arrêté du ministre chargé de la recherche ».
>
> Les conditions sont fixées dans la version modifiée par arrêté du 26 août 2022 de l'arrêté de la formation doctorale, article 19bis : « A l'issue de la soutenance et en cas d'admission, le docteur prête serment, individuellement, en s'engageant à respecter les principes et exigences de l'intégrité scientifique dans la suite de sa carrière professionnelle, quel qu'en soit le secteur ou le domaine d'activité. »

« Selon les termes de l'arrêté, la prestation de serment intervient individuellement lors de la soutenance, une fois la candidate ou le candidat déclarés admis. Cette étape de la soutenance est inscrite au procès-verbal, selon les modalités définies par l'établissement. »

« Mention obligatoire à faire figurer dans la charte : à l'issue de la soutenance, la doctorante admise ou le doctorant admis prête serment + le texte du serment sans modification. »

Textes extraits de la fiche pratique de l'Office Français de l'Intégrité Scientifique (OFIS) portant sur le serment doctoral d'intégrité scientifique.

Serment :

« En présence de mes pairs. Parvenu à l'issue de mon doctorat en Psychologie, et ayant ainsi pratiqué, dans ma quête du savoir, l'exercice d'une recherche scientifique exigeante, en cultivant la rigueur intellectuelle, la réflexivité éthique et dans le respect des principes de l'intégrité scientifique, je m'engage, pour ce qui dépendra de moi, dans la suite de ma carrière professionnelle quel qu'en soit le secteur ou le domaine d'activité, à maintenir une conduite intègre dans mon rapport au savoir, mes méthodes et mes résultats. »

Remerciements

À l’heure où s’achève ce parcours doctoral, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes celles et ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce travail.

À Monsieur Benoît Bolmont, pour avoir cru en mon potentiel et pour m’avoir guidé dans ce voyage académique. Grâce à lui, j'ai eu l'honneur de réaliser ma thèse dans le milieu spatial, un domaine que j'affectionne particulièrement. Son exigence et sa confiance, m'ont poussé à dépasser mes limites. Les congrès auxquels nous avons participé ensemble ont été l’opportunité d’avoir des échanges riches et de rencontrer des personnes exceptionnelles.

À Madame Cécile Langlet, pour sa disponibilité et sa présence, tant dans nos échanges que lors de nos expérimentations à Moscou. Je lui dois beaucoup pour avoir toujours été une interlocutrice privilégiée, vers qui je me tournais pour obtenir des orientations claires et pertinentes. Sa maîtrise dans le prélèvement et l'analyse des mesures physiologiques m'a permis de naviguer avec assurance dans ce domaine et de parfaire mes compétences.

À Madame Anna Yusupova, notre intermédiaire russe indispensable, pour son soutien, son travail et sa présence lors de maintes péripéties. Ce projet n’aurait pu aboutir sans elle.

À Monsieur Michel Nicolas et à Madame Karine Weiss, pour avoir accepté d’évaluer ce travail en tant que rapporteur.e.s, ainsi qu’à Madame Aurélie Collado et à Madame Elisabeth Rosnet pour leur rôle d’examinatrices.

À Madame Hélène Maire et à Madame Marie-Hélène Canu, pour avoir accepté d’être les membres de mon comité de suivi individuel, pour leur écoute et pour leurs conseils.

Aux personnes qui ont participé aux expérimentations, notamment les équipages des missions SIRIUS-19 et SIRIUS-21, et les agences spatiales russe, américaine, européenne et émirienne. Je remercie aussi le CNES pour son appui financier et humain, et tout spécialement Madame Guillemette Gauquelin-Koch pour son soutien tout au long du projet.

***

Aux collègues de l’Université de Lorraine, du 2LPN, du département STAPS de Metz, et de l’Ecole Doctorale SLTC pour leur présence et leur sollicitude. Nos échanges ont enrichi mon travail et m’ont permis de me sentir véritablement entouré. J’accorde une pensée particulière pour mes collègues de doctorat, notamment Evan, Iris, Pauline, Johanne, Romain, et Glenn.

À Madame Pauline Bettenfeld, pour son amitié, son soutien, son temps, et sa réflexivité, qui ont été d'une grande valeur tout au long de ce parcours. Nos expériences de médiation scientifique ont été des sources précieuses d'épanouissement, de créativité et d'amusement.

À Monsieur Michel Pfaff, pour sa confiance, son dynamisme, son soutien et sa camaraderie. Les projets parallèles que nous avons menés ont été un véritable souffle d'air frais au cours de la thèse et m'ont permis de découvrir une autre facette de la recherche.

À Monsieur Jean-Philippe Hainaut, qui est une mine d'informations précieuses, un conseiller éclairé et un interlocuteur d'une rare qualité. Sa vision du monde, sa perspicacité, et, par-dessus tout, son humanisme, font de lui une personne qu'il est réellement enrichissant de côtoyer.

À Maxime Mastagli, pour sa compréhension profonde des difficultés du doctorat et ses conseils avisés. Sa bienveillance, sa présence dans les moments de doute, et sa positivité ont été des ressources précieuses tout au long de mon parcours.

À Madame Coline Hehn, pour ses encouragements, sa sympathie, sa disponibilité et sa positivité. Je me réjouis que nous nous soyons rencontrés au début de notre parcours en psychologie et que nos chemins se soient à nouveau croisés durant le doctorat.

À Olivier Greffier, Rémy Dumond, Alexis Barbry, Marine Asselin, et Jean-Luc Kop, pour leur soutien et leurs encouragements tout au long de ce doctorat. Leur compréhension des difficultés propres à ce parcours a été précieuse et particulièrement appréciée.

***

À ma compagne, Noémie Grimmer, pour laquelle je n'ai pas assez de place dans ces remerciements. Sa présence, sa patience, et son soutien constants tout au long de ce parcours, dans les pires comme dans les meilleurs moments, ont été déterminants dans l'aboutissement de mon travail. Je lui dédie ce manuscrit.

À mes parents dévoués, pour leurs nombreux sacrifices et les efforts incessants qu'ils ont réalisés pour leurs enfants. Ils ont toujours su m'orienter du mieux qu'ils le pouvaient, tout en me soutenant dans les choix que je faisais. Je leur dois une grande partie de ce que je suis.

À mes frères et mes sœurs, pour lesquels j'ai une affection sans borne. Malgré les aléas de la vie, les liens qui nous unissent restent solides et durables. Je sais que je peux toujours compter sur leur soutien indéfectible. J'accorde aussi une pensée pour les valeurs ajoutées que j'ai le bonheur de considérer comme faisant pleinement partie de ma famille.

À ma belle-famille, pour son affection, son soutien et sa grande bienveillance à mon égard. Ils m’ont aidé à prendre du recul lorsque j’en avais le plus besoin.

À Didier Mathieu et Pierre Wilhelm qui, par leur confiance et leur gentillesse, m’ont offert une lumière au bout du tunnel. Puisse notre aventure dans la médiation scientifique être prospère.

À l’ASTEC et à ses membres, notamment Thomas Durand, Anthony Da Silva, et Florian Dupas pour m’avoir transmis le goût d’une science bien faite et rigoureuse.

À Madame Karine Gantelet, pour nos échanges, son soutien sans faille et sa présence ressourçante. Et à Madame Ioana Mihalachi pour son accompagnement. Elles m’ont aidé à garder la tête hors de l’eau.

À ma marraine et mon parrain.

À mes amis de la scolarité, du théâtre, de Verny, et d’ailleurs.

À Astro, ma collègue à quatre pattes, pour ses rappels constants de ce qui compte vraiment.

À toutes les sources d'inspiration et de perspicacité qui m'ont accompagné lors de ce parcours.

À ceux que je regrette.

Avant-propos

Le travail exposé dans ce mémoire de thèse de doctorat a été mené au sein du Laboratoire Lorrain de Psychologie et Neurosciences de la Dynamique des Comportements (EA 7489), dirigé par la Professeure Valérie Saint-Dizier et co-dirigé par Jean-Philippe Hainaut, Maître de Conférence. Il a été encadré par le Professeur Benoît Bolmont et la Professeure Cécile Langlet, tous deux affiliés à l'Université de Lorraine.

Les recherches issues de ce travail ont donné lieu à plusieurs publications scientifiques :

- Pauly, J., Langlet, C., Hainaut, J.-P., Yusupova, A., & Bolmont, B. (2025). Affective States in a Space-Analog Mission and Insights from Psychometric and Hair Cortisol Measures. *Aerospace Medicine and Human Performance*, *96*(5), 436-442. https://doi.org/10.3357/AMHP.6578.2025
- Pauly, J., Langlet, C., Hainaut, J.-P., Yusupova, A., & Bolmont, B. (en cours d'écriture). Individual and group dynamics of affective states during an 8-month simulated lunar mission: a multidimensional approach.

Elles ont fait l'objet de communications orales lors d'évènements locaux ou internationaux :

- Pauly, J., Langlet, C., Hainaut, J.-P., & Bolmont, B. (12 juillet 2022). *Psychological monitoring in space analog environments.* [Internal communication]. Séminaire inter-laboratoire (2LPN-LCOMS), Metz, France.
- Pauly, J., Langlet, C., Hainaut, J.-P., & Bolmont, B. (14 octobre 2022). *Adaptation psychologique lors d'une mission de simulation de vie sur mars.* [Internal communication]. Séminaire de laboratoire (2LPN), Metz, France.
- Pauly, J., Langlet, C., Hainaut, J.-P., & Bolmont, B. (8 juin 2023). *Suivi des états affectifs lors d'un confinement de huit mois simulant une mission lunaire.* [Conference session]. Journée des jeunes chercheurs du 2LPN, Nancy, France.
- Pauly, J., Langlet, C., Hainaut, J.-P., & Bolmont, B. (5 juillet 2023). *Psychological adaptation during a 3-weeks confinement in a space-like environment* [Conference session]. 42st Annual International Society for Gravitational Physiology meeting (ISGP), Antwerp, Belgium. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.27309.60649

Elles ont également été présentées sous forme de poster lors d'évènements locaux ou internationaux :

- Pauly, J., Langlet, C., Hainaut, J.-P., & Bolmont, B. (2021, mai 24). *Emotion in space analog environments : Detection of affective changes in response to a stressful task in a situation of confinement* [Poster presentation]. 41st Annual International Society for Gravitational Physiology meeting (ISGP), Virtual meeting.
- Pauly, J., Langlet, C., Hainaut, J.-P., & Bolmont, B. (2022, septembre 21). *Detection and monitoring of affective states during a 4-month confinement in a space-like environment* [Poster presentation]. 73rd International Astronautical Congress (IAC), Paris, France.
- Pauly, J., Langlet, C., Hainaut, J.-P., Yusupova, A., & Bolmont, B. (17 novembre 2023). *Suivi des états affectifs en conditions analogues à un vol spatial de longue durée* [Poster presentation]. 25 ans du STAPS Metz, Metz, France.

Cadre général du travail de recherche

Cette thèse explore la dynamique des états affectifs en condition de confinement prolongé, dans un contexte opérationnel complexe. Elle s'appuie sur des données issues des missions spatiales simulées SIRIUS-19 et SIRIUS-21 conduites à l'Institut des Problèmes Biomédicaux (IBMP) à Moscou (Russie). Au-delà de la richesse scientifique qu'offraient ces expérimentations, l'ensemble du travail présenté doit cependant être compris à la lumière de certaines contraintes opérationnelles et logistiques fortes, qui ont affecté la mise en œuvre des protocoles, la qualité des données recueillies et l'orientation progressive des objectifs de recherche. Ce préambule vise à expliciter ces conditions afin de situer la portée des résultats, les choix méthodologiques effectués a posteriori et les apports spécifiques de cette thèse dans un champ de recherche encore en structuration.

A. Contexte opérationnel et contraintes logistiques

Les données recueillies au cours des missions SIRIUS ont été affectées par de nombreuses limitations techniques et organisationnelles qui ont pesé sur la constitution, la qualité et la complétude du corpus scientifique initialement prévu.

La pandémie de COVID-19 a constitué une première perturbation opérationnelle. La mission SIRIUS-21, initialement prévue en 2020, a été reportée d'un an et n'a pu débuter qu'en 2021. Dans ce type de dispositif, où l'accès au terrain est rare, et dépend d'un calendrier imposé par des partenaires institutionnels, un report d'un an a des implications scientifiques directes. Il modifie la temporalité d'un projet doctoral, décale l'articulation entre phases de conception, de recueil, de traitement et d'interprétation, et nécessite d'adapter la recherche à une situation sanitaire incertaine.

La guerre russo-ukrainienne a constitué une seconde contrainte. Elle a introduit un contexte géopolitique instable, avec des répercussions concrètes sur la mission SIRIUS-21. D'un point de vue méthodologique, le contexte a créé un biais potentiel lié à la composition de l'équipage, du fait de la présence conjointe de participants russes et américains au sein de la mission. Dans un dispositif de confinement prolongé, les dynamiques de groupe et les stratégies d'adaptation peuvent être influencées par l'arrière-plan sociopolitique, même lorsque les participants sont engagés dans une mission encadrée et orientée vers des objectifs communs.

La guerre a ainsi constitué un contexte susceptible d'affecter les processus psychologiques étudiés, et doit être prise en compte comme une dimension de lecture, au même titre que d'autres paramètres environnementaux ou organisationnels. Au-delà de cette question de biais, la guerre a eu un effet direct sur la continuité opérationnelle du travail. En 2022, le suivi et les échanges ont été interrompus pendant plusieurs mois, à la demande du CNES (Centre National d'Etudes Spatiales) et de l'Université de Lorraine. Cette rupture de contact a entraîné une perte de continuité dans la coordination scientifique. Enfin, ce contexte a eu des conséquences sur la récupération des données. En raison d'un incident logistique, la valise diplomatique contenant le matériel expérimental et les données issues de la mission SIRIUS-21 s'est perdue lors d'une étape au Bahreïn. Nous n'avons pu récupérer cette valise qu'au mois de mai 2023, soit 10 mois après la fin de l'expérimentation, ce qui a retardé d'autant l'analyse des données et l'aboutissement de ce travail.

Outre ces contraintes logistiques, notre travail a été affecté par des limites plus directement opérationnelles, liées aux mesures elles-mêmes et à leurs conditions d'acquisition. Des défaillances matérielles ont été observées, notamment la présence de « bruit électrique » dans des signaux électrophysiologiques lors de SIRIUS-19, et des signaux de qualité insuffisante lors de SIRIUS-19 et SIRIUS-21, possiblement en lien avec les conditions de captation. Des erreurs de manipulation ont également été rencontrées. Certaines performances à des tâches cognitives ont pu être proches du hasard, voire inférieures à ce qui était attendu, suggérant des incompréhensions, des difficultés de réalisation, ou des conditions de passation non optimales. Des questionnaires ont été mal remplis dans les deux missions, introduisant des valeurs manquantes, des incohérences, ou une incertitude sur la fidélité du renseignement. Le prélèvement de cortisol capillaire a aussi été fragilisé par le non-respect de certaines règles, notamment lorsque des participants se rasaient les cheveux trop courts pour permettre un échantillonnage suffisant. Ainsi, même lorsqu'un marqueur est théoriquement robuste, il reste dépendant de contraintes matérielles qui peuvent être difficiles à garantir dans des contextes analogues, où l'autonomie des participants, la routine de mission, et les priorités opérationnelles peuvent gêner les procédures scientifiques.

Enfin, la standardisation des conditions de passation n'a pas toujours pu être assurée de manière stricte. Des activités « parasites » ont pu interférer avec certaines sessions de mesure, comme la pratique sportive, ou des perturbations sociales ou environnementales (e.g. présence de pairs engagés dans des échanges ou des activités physiques à proximité). Les horaires ont également pu varier. Ces éléments sont typiques du terrain en environnement confiné : ils rendent la

situation plus écologique, mais complexifient l'interprétation lorsqu'on cherche à étudier les états psychophysiologiques. Dans ce manuscrit, ils constituent une donnée de contexte essentielle pour comprendre pourquoi certaines analyses ont dû être abandonnées ou reconfigurées.

Ces conditions opérationnelles façonnent l'intégralité du travail présenté. Elles conditionnent la validité des mesures, réduisent la quantité de données exploitables, limitent les analyses statistiques inférentielles au profit de statistiques descriptives, entraînent des retards éditoriaux, et empêchent parfois de tester certaines hypothèses prévues si le niveau de qualité requis pour des analyses n'est pas atteint. Ces conséquences méthodologiques sont explicitées dans ce manuscrit.

B. Conception initiale des projets et réorientation scientifique

Les deux études présentées dans ce manuscrit s'inscrivent à l'origine dans des projets plus larges portés par le laboratoire 2LPN (Université de Lorraine) lors des missions SIRIUS-19 et SIRIUS-21. L'objectif général était de mieux comprendre l'adaptation psychologique en milieu confiné et extrême, en s'intéressant en particulier aux dynamiques affectives, aux réponses de stress, et aux capacités de régulation émotionnelle au cours de missions prolongées. Trois objectifs principaux structuraient ainsi le projet initial : suivre l'évolution des états affectifs au fil du temps, évaluer des réponses physiologiques, psychologiques et cognitives à une tâche stressante répétée, et étudier l'efficacité d'une stratégie de régulation émotionnelle par biofeedback. Cependant, l'ensemble des contraintes décrites précédemment a limité la mise en œuvre complète de ces objectifs. Les défaillances matérielles, les erreurs de manipulation, ou les difficultés de standardisation ont compromis une partie des données. Cela a réduit la possibilité de mener des analyses rigoureuses sur les objectifs nécessitant une qualité de signal satisfaisante et un volume suffisant de mesures exploitables.

Dans ce contexte, il a été nécessaire de reconfigurer les questions de recherche et de recentrer l'analyse sur les données les plus robustes et les plus exploitables, en particulier celles portant sur l'évolution des états affectifs tout au long des missions. Ce recentrage n'efface pas l'ambition initiale, mais reconnaît qu'une exploitation responsable et scientifiquement opportune implique parfois de renoncer à certaines questions lorsque les conditions minimales d'étude ne sont pas réunies. Les mesures initialement prévues, qu'elles aient été exploitées ou

non, sont présentées dans le manuscrit afin de rendre compte du dispositif réel, de ses intentions, et de situer clairement ce qui a été conservé dans nos analyses.

C. Plus-value scientifique du manuscrit

Malgré les nombreuses contraintes rencontrées, ce travail propose plusieurs contributions au champ de la psychologie spatiale. Il présente les résultats de deux missions analogues structurées autour d'une démarche comparable, mais réalisées sur des durées distinctes, offrant ainsi de nouvelles pistes de réflexion sur l'effet du temps de confinement sur les dynamiques affectives. Ce travail développe également une lecture individualisée des processus affectifs, révélant des profils contrastés et confirmant l'importance des approches centrées sur les trajectoires personnelles plutôt que sur les moyennes de groupe. Il met aussi en évidence le potentiel des analyses multimodales, encore rares dans le domaine spatial. Par ailleurs, ce travail vise à rendre les résultats ouverts et réutilisables, afin qu'ils puissent alimenter des analyses ultérieures, des compilations, ou des démarches de synthèse en Open Science. Dans un domaine où les opportunités de recueil sont rares, la valeur d'un jeu de données augmente lorsqu'il est documenté, accessible, et mobilisable au-delà de l'étude initiale, notamment pour des comparaisons inter-missions ou des méta-analyses. Enfin, ce manuscrit fournit une contribution théorique : il propose un cadre et des réflexions approfondies sur son champ de recherche, en articulant les apports des sciences affectives aux contraintes propres aux environnements analogues au spatial. Il interroge les choix méthodologiques habituels, et discute l'influence des modèles théoriques sur la manière de concevoir et de mesurer les états affectifs en milieu spatial.

En dépit des difficultés opérationnelles, cette thèse montre que la recherche en environnement analogue peut générer des données pertinentes et éclairantes dès lors qu'elles sont analysées avec prudence, dans une perspective méthodologique scientifiquement fondée et transparente. Elle inaugure ainsi de nouvelles pistes de recherche sur les états affectifs en environnement spatial simulé et témoigne des enjeux concrets associés au développement de ce champ disciplinaire.

Table des matières

LISTE DES FIGURES 15

LISTE DES TABLEAUX 16

LISTE DES ANNEXES 17

INTRODUCTION 20

CHAPITRE I : CADRE THEORIQUE 27

I. DU STRESS AUX ETATS AFFECTIFS : FONDEMENTS CONCEPTUELS ET METHODOLOGIQUES 28

A. Stress et facteurs de stress 28

1. Définir les facteurs de stress 28
2. Caractériser les facteurs de stress 29
3. Caractériser l'impact des facteurs de stress sur les individus 30

B. Les états affectifs : un cadre théorique hétérogène 31

1. De la difficulté de définir les émotions 32
2. Les théories des émotions de base 33
3. Les théories de l'évaluation 35
4. Les théories constructivistes 36
5. Une autre façon d'envisager les sciences affectives 38

C. Mesurer les états affectifs 42

1. Considérations épistémologiques : Essentialisme versus Nominalisme 42
   a) La Vision Classique des émotions 43
   b) L'approche constructiviste 46
2. Considérations méthodologiques : des approches variées 50
   a) Les mesures auto-rapportées 50
   b) Les mesures physiologiques 52
   c) Les mesures cognitives 55
   d) Conclusion : vers une évaluation intégrée des états affectifs 57

D. Résumé 59

II. L'HUMAIN EN CONDITIONS SPATIALES : DES FACTEURS DE STRESS AUX ETATS AFFECTIFS 60

A. Les facteurs de stress en conditions spatiales 60

1. Les stresseurs dans l'espace 60
2. L'intérêt des environnements analogues 63

B. Les états affectifs en conditions spatiales et analogues *66*
1. L'adaptation affective dans l'espace 66
2. L'adaptation affective en conditions analogues à l'espace 68
3. Les dynamiques temporelles de l'adaptation psychologique 71
4. L'hétérogénéité des profils d'adaptation 73
C. Résumé *77*

CHAPITRE II : PROBLEMATIQUES, OBJECTIFS ET HYPOTHESES 78

CHAPITRE III : EXPERIMENTATIONS 84

I. CONSIDERATIONS GENERALES 85
A. Cadre des études : le NEK *85*
B. Scénario des missions SIRIUS-19 et SIRIUS-21 ..... *87*
C. Population de recherche *87*
D. Contexte initial des projets de recherche et ajustements méthodologiques *88*
E. Outils utilisés pendant les missions *89*
1. Mesures psychométriques 90
2. Mesures physiologiques 91
3. Mesures cognitives 93
4. Mesures non exploitées 96
a) SIRIUS-19 96
b) SIRIUS-21 97
F. Considérations éthiques *99*
II. EXPERIMENTATION 1 : SIRIUS-19 100
A. Méthodologie *100*
1. Sujets 100
2. Paramètres étudiés 100
3. Procédure 100
4. Analyse de données 101
B. Résultats *102*
C. Discussion *105*
D. Conclusion *107*
III. EXPERIMENTATION 2 : SIRIUS-21 108
A. Méthodologie *108*
1. Sujets et paramètres expérimentaux 108

2. Paramètres étudiés 108
3. Procédure 108
4. Analyse de données 110
B. Résultats 111
C. Discussion 117
1. Processus affectifs du groupe 117
a) Psychométrie 117
b) Physiologie 118
c) Cognition 119
2. Processus affectifs individuels 121
D. Conclusion 125
CHAPITRE IV : DISCUSSION GENERALE 126
I. L'EFFET DES CONDITIONS ANALOGUES AU SPATIAL SUR LES ETATS AFFECTIFS 129
II. DES SCIENCES AFFECTIVES A LA PSYCHOLOGIE SPATIALE : UNE REFLEXION EPISTEMOLOGIQUE SUR LA VARIABILITE DES PROCESSUS AFFECTIFS 135
A. Appréhender la variabilité des états affectifs 135
B. S'inspirer de l'approche constructiviste dans la recherche spatiale : conséquences et préconisations 139
C. Synthèse : vers un modèle intégratif de l'adaptation affective 144
III. LIMITES 152
A. Limites spécifiques à l'expérimentation 1 152
B. Limites spécifiques à l'expérimentation 2 153
C. Les limites des environnements analogues 154
D. Les limites statistiques 156
E. Les facteurs confondants 157
IV. QUELLES PERSPECTIVES POUR L'ACCOMPAGNEMENT AFFECTIF EN CONDITIONS SPATIALES ? 159
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES 161
ANNEXES 186
ABSTRACT 198
RÉSUMÉ 199

Liste des figures

Figure 1 : Organisation spectrale des théories en sciences affectives selon Lisa Feldman Barrett 42
Figure 2 : Loi de Yerkes-Dodson, 1908. 57
Figure 3 : Visualisation de quelques environnements analogues aux conditions spatiales. 65
Figure 4 : Plan annoté du NEK à l'IBMP de Moscou, en Russie. 86
Figure 5 : Modalités des stimuli de la tâche Eriksen-Flanker 94
Figure 6 : Classification d'images 95
Figure 7 : Frise décrivant le déroulement du protocole de la mission SIRIUS-19 101
Figure 8 : Représentation graphique des paramètres psychométriques et du HCL lors de la mission SIRIUS-19. 104
Figure 9 : Frise décrivant le déroulement du protocole de la mission SIRIUS-21 109
Figure 10 : Représentation des paramètres psychométriques pendant la mission SIRIUS-21 112
Figure 11 : Représentation des paramètres physiologiques pendant la mission SIRIUS-21 . 114
Figure 12 : Représentation des paramètres cognitifs pendant la mission SIRIUS-21 115
Figure 13 : Représentation de l'approche mécanistique utilisée en psychologie spatiale 137
Figure 14 : Exemple d'évolution de l'adaptation psycho-affective au cours du temps 148
Figure 15 : Modèle bidimensionnel et dynamique de l'adaptation psycho-affective dans les environnements spatiaux et analogues (« ADAPT-2D ») 149

Liste des tableaux

Tableau 1 : Taxonomie des différents facteurs de stress présents dans les environnements spatiaux..... 62
Tableau 2 : Description des principaux modèles temporels décrivant l'évolution de l'adaptation psychologique lors de séjours en ICE. 72
Tableau 3 : Classification des facteurs psycho-sociaux modulant la stabilité émotionnelle des individus en mission spatiale..... 75
Tableau 4 : Tableau récapitulatif des mesures prévues, exploitées et non exploitées pendant les missions SIRIUS 98
Tableau 5 : Valeurs individuelles et de groupe par jour de mission. 103
Tableau 6 : Tableau récapitulatif des mesures psychométriques, physiologiques et cognitives de la missions SIRIUS-21 116
Tableau 7 : Synthèse des profils d'adaptation observés pendant la mission SIRIUS-21..... 124

Liste des annexes

I. Annexe 1 : Photos du NEK et de son intérieur 187
II. Annexe 2 : Échelle des affects positifs et négatifs (PANAS, version anglaise) 189
III. Annexe 3 : Mannequin d'Auto-Evaluation (SAM, version anglaise)..... 190
IV. Annexe 4 : Échelle de Stress Perçu (PSS, version anglaise) 191
V. Annexe 5 : Inventaire de l'Anxiété État (STAI-A, version anglaise)..... 192
VI. Annexe 6 : Application du modèle ADAPT-2D auprès des participants à la mission SIRIUS-21 193

Liste des abréviations

µS : Micro-Siemens

ACTH : Adrénocorticotrophine

AED : Activité Electrodermale

bpm : Battements Par Minute

BVP = Blood Volume Pulse

CRH : Corticolibérine

e.g. : exempli gratia (par exemple)

ECG: Electrocardiogramme

ESA : European Space Agency

EVA : Sortie Extra-Véhiculaire

FC : Fréquence Cardiaque

HCL : Hair Cortisol Level

HI-SEAS : Hawaii Space Exploration Analog and Simulation

HHS : Axe Hypothalamo-Hypophyso-Surrénalien

IBMP : Institut des Problèmes Biomédicaux

ICE : Isolated and Confined Environments

i.e. : Id est (c'est-à-dire)

ISS : Station Spatiale Internationale

LF/HF ratio : Low Frequency / High Frequency ratio

MD : Mission Day

ms : Millisecondes

NASA : National Aeronautics and Space Administration

NEEMO : NASA Extreme Environment Mission Operations

NEK : Nazemnyy Eksperimental'nyy Kompleks

PANAS : Positive and Negative Affect Scale

PAE : Perception d'Auto-Efficacité

pg/mg : Picogrammes par Milligrammes

PI : Perception d'Impuissance

PPG = Photopléthysmographie

PSS : Perceived Stress Scale

QOP : Quality Of Performance

SAM : Self-Assessment Manikin

SCL : Skin Conductance Level

SDNN = Ecart-Type des intervalles NN

SIRIUS : Scientific International Research in Unique Terrestrial Station

SNA : Système Nerveux Autonome

SNP : Système Nerveux Parasympathique

SNS : Système Nerveux Sympathique

STAI : State-Trait Anxiety Inventory

TEC : Théorie des Emotions Construites

TR : Temps de Réaction

« Les espèces qui survivent ne sont pas les espèces les plus fortes, ni les plus intelligentes,
mais celles qui s'adaptent le mieux aux changements. »

Charles Robert Darwin

« Ce qui trouble les hommes, ce ne sont pas les choses,
mais le jugement qu'ils portent sur ces choses. »

Épictète

« Quand vous cherchez quelque chose, il n'y a pas mieux que de regarder.
En regardant, vous être presque sûr de trouver quelque chose,
mais ce quelque chose n'est pas toujours exactement ce que vous cherchiez. »

John Ronald Reuel Tolkien

« Quand on ne sait pas, qu'est-ce qu'on fait ?
On cherche. »

La plus grande leçon que je dois à mes parents.

Introduction

L'humanité n'a jamais cessé de sacrifier son confort pour satisfaire sa soif d'exploration. Au XXIe siècle, la conquête spatiale demeure une aventure à la fois audacieuse et fascinante. Depuis le premier voyage de Youri Gagarine hors de notre atmosphère en 1961, les ambitions se sont élargies, menant les chercheurs et les spationautes[1] vers des destinations toujours plus éloignées de notre planète bleue.

Aujourd'hui, l'humanité se prépare à repousser une fois de plus les limites de sa présence dans le cosmos. Alors que les missions spatiales actuelles s'étendent de quelques jours à quelques mois, les agences spatiales envisagent désormais des voyages plus longs, pouvant s'étendre sur plusieurs années, notamment avec les projets de station lunaire (programme ARTEMIS) et de mission habitée vers Mars. Cependant, ces ambitions soulèvent de nouveaux défis. À ce jour, des humains n'ont jamais été aussi loin ou aussi longtemps dans l'espace comme il est envisagé pour les prochaines expéditions. Les spationautes qui participeront à ces missions seront confrontés à des conditions tout à fait inhabituelles et hostiles pendant de longues périodes (e.g. danger, rayonnements, microgravité)(Patel et al., 2020). Ces voyages exposeront aussi les équipages à une combinaison unique de contraintes psychosociales, incluant un confinement prolongé, l'éloignement de la Terre et d'une aide potentielle (isolement), ou encore la cohabitation en espace restreint (De La Torre et al., 2012; Pagnini et al., 2023). Dans ce contexte, la réussite des futures expéditions ne reposera pas uniquement sur la fiabilité des technologies ou sur la prévention des risques biomédicaux. Elle dépendra aussi de la capacité des équipages à faire face psychologiquement à ces conditions extrêmes, et à maintenir un fonctionnement mental stable et efficace tout au long de leur mission. La question de l'adaptation psychologique à ces environnements devient ainsi un enjeu majeur des recherches sur l'exploration spatiale habitée.

[1] Chaque pays a attribué à ses voyageurs de l'espace une appellation inspirée de son héritage culturel et linguistique: "astronautes" aux États-Unis, "cosmonautes" en Russie ou "taïkonautes" en Chine. Dans cette thèse, nous privilégierons le terme de "spationaute" (du latin *spatium* = espace, et *naute* = explorateur/navigateur).

L'adaptation psychologique peut être définie comme un « processus dynamique d'ajustement constant à l'environnement » (Nicolas et al., 2017). Ce phénomène implique plusieurs dimensions psycho-physiologiques : affective, sociale, cognitive, occupationnelle, ou physique (Nicolas et al., 2017, 2019). Or, la plupart de ces facteurs, comme les performances cognitives (Sandi, 2013), ou les interactions sociales (Sandi & Haller, 2015), sont sensibles au stress. Lorsqu'un individu est soumis à des conditions difficiles, ces éléments peuvent être altérés, affectant non seulement son équilibre psychologique global, mais également sa santé et ses performances. C'est pourquoi l'adaptation psychologique fait l'objet d'une attention particulière dans le domaine spatial, où l'environnement est particulièrement contraignant (Pagnini et al., 2023).

Afin de limiter les troubles d'adaptation psychologique en conditions spatiales, les spationautes sont sélectionnés selon des critères exigeants (Santy, 1994). Ils sont notamment soumis à des examens psychologiques et psychiatriques afin de s'assurer de leur « bonne santé mentale » et de leur résistance au stress. De cette sélection rigoureuse ressort le stéréotype des spationautes flegmatiques, courageux, et sereins face au danger. Pourtant, au même titre que les autres humains, ces personnes peuvent présenter des vulnérabilités psychiques (Kanas, 2015). La santé mentale est une problématique qui concerne tout le monde, même les individus à haut niveau de fonctionnement (Ruitenburg et al., 2012). Ainsi, plusieurs études ont déjà montré que les spationautes peuvent présenter des symptômes psychologiques et psychiatriques pendant leurs missions (Kanas, 2015). Dans ce registre, les troubles les plus fréquemment rapportés concernent le domaine affectif (Palinkas et al., 2004). Par exemple, dans des conditions spatiales, les individus peuvent développer des troubles de l'humeur comme de l'anxiété[2] (Slack et al., 2015). Toutefois, notre compréhension des dynamiques affectives dans l'espace demeure

[2] Selon l'Association Américaine de Psychologie (APA), l'anxiété est « caractérisée par une appréhension et des symptômes somatiques de tension dans laquelle un individu anticipe un danger, une catastrophe ou un malheur imminent. ».

limitée. Selon Alfano et coll. (2018), les données disponibles sont encore peu nombreuses, hétérogènes, et ne permettent pas de tirer de conclusions solides sur la fréquence, la gravité ou l'évolution des troubles affectifs dans ces conditions. Il pourrait être bénéfique d'approfondir ce sujet car les états affectifs, en particulier sous l'influence du stress, peuvent impacter l'individu et sa santé, mais aussi l'ensemble de l'équipage et la mission en elle-même. Des perturbations affectives pourraient modifier les relations interpersonnelles, diminuer la motivation, ou réduire la capacité à accomplir des tâches essentielles, d'autant plus lors de voyages de longues durée (Le Roy et al., 2023). Le déroulement de l'expédition s'en retrouverait alors impacté (Alfano et al., 2018).

Conscientes de ces enjeux, les agences spatiales accordent une importance croissante à la préservation de la santé psycho-affective des spationautes. Cela suppose de mieux comprendre les processus affectifs en conditions extrêmes et de disposer d'outils pour les mesurer précisément au cours des missions. Or, évaluer les affects soulève de nombreux défis, tant sur le plan technique qu'épistémologique. D'un point de vue opérationnel, les contraintes propres au milieu spatial peuvent entraver l'évaluation psychologique : délais de communication, autonomie de l'équipage, modifications physiologiques, altérations des rythmes circadiens, ou encore restrictions matérielles. Ces éléments peuvent directement ou indirectement contrarier la collecte, le suivi et l'analyse des données psychologiques en mission (De La Torre et al., 2012; De La Torre et al., 2024). Mais au-delà de ces obstacles logistiques, c'est la nature même des états affectifs qui rend leur évaluation complexe. Bien qu'ils soient largement étudiés dans les sciences du comportement, ils ne disposent pas à ce jour d'une définition universellement acceptée. Leurs fondements, leurs mécanismes et leurs manifestations font toujours l'objet de divergences théoriques intenses (Barrett et al., 2016). Mesurer un phénomène dont la nature n'est pas consensuelle pose donc un défi supplémentaire.

Dans ce contexte, un dialogue plus étroit entre sciences affectives et recherche spatiale apparaît nécessaire. C'est dans cette perspective que s'inscrit ce travail de thèse. Il vise à articuler les apports de ces deux champs pour interroger la manière dont les affects sont définis, mesurés et interprétés en conditions spatiales. L'objectif est de réfléchir à un cadre conceptuel et méthodologique adapté à l'étude des états affectifs en milieu spatial. Cela contribuerait à mieux comprendre leurs dynamiques en mission et à améliorer la pertinence des mesures utilisées pour les évaluer.

Mais pour progresser dans ces réflexions, encore faut-il disposer de terrains d'étude permettant d'observer les dynamiques affectives dans des contextes réalistes, mais contrôlés. C'est précisément le rôle joué par les « environnements analogues ». Il s'agit de milieux terrestres qui reproduisent certaines contraintes rencontrées en mission spatiale. Ces dispositifs permettent d'étudier l'adaptation psychologique sans exposer directement des équipages aux risques d'un voyage spatial de longue durée. Ils constituent donc un cadre expérimental susceptible de fournir des données utiles à notre domaine de recherche.

Les premières connaissances que nous avons sur l'adaptation humaine à de tels environnements peuvent remonter aux grandes expéditions polaires du début du XXe siècle (Suedfeld, 2010). Des explorateurs comme Roald Amundsen, Ernest Shackleton, John Murray, ou Robert Falcon Scott ont tenté de conquérir les régions polaires les plus reculées et inhospitalières de la planète, livrant ainsi les premiers témoignages des effets psychologiques et physiologiques de l'isolement extrême et du froid (Headland, 1989; Murray, 1894). Mais c'est plus tard, au milieu du XXe siècle, qu'une véritable approche scientifique de l'adaptation psychologique aux environnements extrêmes a émergé, notamment grâce aux travaux du médecin et explorateur

français Jean Rivolier[3]. Depuis, avec la perspective d'un retour sur la Lune et l'intérêt croissant pour l'exploration de Mars, de nombreux dispositifs ont été mobilisés pour simuler avec précision les conditions d'un voyage spatial de longue durée (e.g confinements, grottes, sous-marins). Ces environnements analogues sont regroupés sous le terme « ICE » (« Isolated and Confined Environments » ou « Environnements isolés et confinés »). Leur intérêt réside dans la combinaison de multiples contraintes propres aux voyages spatiaux de longue durée. Ainsi, les ICE offrent un terrain d'expérimentation pertinent pour étudier l'adaptation humaine (e.g. sociale, psychologique, affective, physiologique), dans des conditions proches de celles rencontrées dans l'espace.

C'est dans ce cadre que s'inscrivent nos recherches. Elles s'appuient sur des données recueillies lors de confinements simulant des conditions spatiales, réalisés à Moscou dans le cadre du projet SIRIUS (Scientific International Research in Unique Terrestrial Station). Ce programme, qui a réuni des partenaires internationaux tels que la NASA (National Aeronautics and Space Administration), Roscosmos, le CNES (Centre National d'Études Spatiales), la DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt), l'ESA (European Space Agency) ou encore l'agence spatiale des Émirats arabes unis, visait à mieux comprendre les processus d'adaptation en milieu confiné. Il offrait ainsi un contexte expérimental pour étudier les dynamiques affectives dans un contexte proche des exigences opérationnelles d'un vol spatial.

Le travail que nous présentons dans ce manuscrit poursuit deux objectifs complémentaires. Le premier est d'explorer en pratique les réponses affectives en contexte analogue au spatial, afin de mieux comprendre comment les individus réagissent face aux contraintes propres à ces environnements. Le second vise à approfondir les fondements

[3] Spécialiste des environnements extrêmes, il s'est intéressé à la manière dont les individus s'adaptent physiquement et psychologiquement à des conditions de confinement ou d'isolement prolongé. Ses recherches, menées dans des contextes polaires et alpins, ont été parmi les premières à analyser les mécanismes bio-psycho-sociaux d'adaptation dans ces milieux extrêmes. Ces travaux ont ouvert la voie à une meilleure compréhension des dynamiques individuelles et collectives dans ce type de milieu (Rivolier, 1997).

théoriques et méthodologiques de l'évaluation des affects en contexte spatial, à travers une revue critique de la littérature en psychologie spatiale et en sciences affectives. Cette démarche entend contribuer à une meilleure compréhension de l'adaptation psychologique en conditions spatiales, et à nourrir la réflexion sur le suivi des états psychologiques en mission.

Notre procédure se décline en plusieurs étapes. Dans un premier chapitre, nous dresserons une revue de la littérature. Celui-ci s'organisera en deux sections complémentaires. La première section, à portée théorique, constituera le socle conceptuel de notre travail : elle proposera une définition du stress, avec un focus sur la notion de facteur de stress, puis explorera les états affectifs, leurs définitions et les moyens de les évaluer. La deuxième section, plus appliquée, montrera en quoi les conditions spatiales regroupent un large éventail de facteurs de stress susceptibles de moduler l'adaptation psychologique. Nous synthétiserons alors les travaux consacrés à l'adaptation affective en environnement spatial. Dans un deuxième chapitre, nous définirons les principaux objectifs et les hypothèses qui ont orienté nos investigations. Une troisième partie sera consacrée à la présentation détaillée de deux expérimentations, en mettant en avant les méthodologies adoptées, les résultats obtenus et leurs interprétations. Enfin, le quatrième chapitre exposera un bilan global de nos recherches, en mettant en avant les conclusions majeures, des réflexions théoriques, les limites rencontrées, et des perspectives de recherche futures.

Chapitre I :

Cadre théorique

I. Du stress aux états affectifs : fondements conceptuels et méthodologiques

Ce chapitre vise à dresser un cadre théorique sur les facteurs de stress, les états affectifs et les différentes approches permettant de les évaluer.

A. Stress et facteurs de stress

Le stress est un concept complexe qui a évolué au fil du temps. Il a d'abord été étudié sous l'angle biologique (Cannon, 1915; Selye, 1956), avant d'être complété par des facteurs psychologiques (Lazarus & Folkman, 1984) et socio-environnementaux (Pearlin, 1989). Aujourd'hui, le stress est compris comme une interaction multifactorielle entre un individu et son environnement (Epel et al., 2018). L'Association de Psychologie Américaine (APA) le définit sommairement comme « la réponse physiologique ou psychologique à des facteurs de stress internes ou externes » (*APA Dictionary of Psychology*).

Le stress comprend ainsi deux composantes majeures. Il désigne à la fois des situations perçues comme contraignantes (appelées « facteurs de stress » ou « stresseurs » ; e.g. préoccupations quotidiennes, défis professionnels, évènements de vie) et les réactions qu'elles suscitent, qu'elles soient cognitives, comportementales, affectives ou biologiques (appelées la "réponse de stress"; Epel et al., 2018). Dans ce chapitre, nous décrirons d'abord les facteurs de stress. Puis, nous explorerons les réponses affectives qu'ils peuvent engendrer.

1. Définir les facteurs de stress

Selon Wheaton et Montazer (2010), un facteur de stress (ou stresseur) se définit comme une « condition de menace, de défi, d'exigences ou de contraintes structurelles qui, par le fait même de son apparition ou de son existence, remet en question l'intégrité du fonctionnement

de l'organisme ». En d'autres termes, le stresseur correspond à tout élément qui interagit avec un individu et exerce une influence quelconque sur lui (e.g. température, luminosité, événements, pensées, souvenirs, interactions sociales). Dans ce chapitre, nous verrons que la réponse de l'organisme à ces facteurs de stress dépend à la fois de leur nature (partie 2) et de la manière dont ils sont évalués par l'individu (partie 3).

2. Caractériser les facteurs de stress

Les facteurs de stress/stresseurs peuvent avoir une multitude de natures différentes. Ils peuvent être différenciés et analysés en fonction de diverses caractéristiques. Les travaux de Epel et coll. (2018) ont permis de cerner six dimensions pour les décrire. Premièrement, les facteurs de stress peuvent être caractérisés selon leur durée. Il peut s'agir de stresseurs chroniques (minimum 1 mois - Epel et al., 2018 ; e.g. pauvreté, pathologie chronique), ou de stresseurs aigus, caractérisés par une courte durée (e.g. parler en public). Les facteurs de stress aigus peuvent se répéter et avoir les mêmes effets que le stress chronique (e.g. situations d'urgence régulières ; Crosswell & Lockwood, 2020). Deuxièmement, ils peuvent être définis selon leur sévérité. La sévérité d'un stresseur correspond à son intensité (e.g. panne mineure d'un équipement vs défaillance critique mettant en péril la mission ou les individus). Troisièmement, les stresseurs peuvent être identifiés selon leur contrôlabilité. Il s'agit du degré d'influence que l'individu peut exercer sur la situation (réaliser une expérimentation délicate, faire un discours = contrôlable ; éloignement de la terre pendant une mission spatiale = peu contrôlable). Quatrièmement, les facteurs de stress peuvent être distingués selon le domaine de vie impacté. Les stresseurs peuvent toucher diverses sphères, telles que les relations sociales, la famille, les possessions, le travail, la santé, le logement, ou encore les finances. Un stresseur peut affecter un ou plusieurs de ces domaines simultanément. Les domaines de vie fournissent donc un cadre contextuel au stress. Cinquièmement, les facteurs de stress diffèrent selon leur cible. La cible du stresseur détermine qui est concerné par celui-ci. Il peut s'agir de l'individu

lui-même, de ses proches ou même de sa communauté (e.g. groupe, équipage, nation, espèce…). Enfin, sixièmement, il est possible de caractériser un facteur de stress selon son potentiel à provoquer des réponses émotionnelles nocives. Il existe des facteurs de stress qui peuvent provoquer des émotions néfastes fortes, susceptibles de conduire à des troubles significatifs (e.g. agression, deuil, menace du statut social, humiliation…).

Ces différentes dimensions sont utilisées pour décrire la nature variable des facteurs de stress. Toutefois, ils n'indiquent pas dans quelle mesure ces stresseurs impactent l'individu et à quel point sa réponse sera importante (Epel et al., 2018).

3. Caractériser l'impact des facteurs de stress sur les individus

Les facteurs de stress ont une incidence variable sur les individus. Une même situation peut avoir un effet significatif chez certains, mais pas chez d'autres. Pour exercer une contrainte et engendrer une réponse de stress, les stresseurs doivent posséder certaines caractéristiques spécifiques, résumées sous l'acronyme C.I.N.É (CESH):

- Contrôle faible : lorsqu'un individu perçoit qu'il a peu ou pas de contrôle sur une situation, cela peut générer une réponse de stress. Ce ressenti subjectif diffère des caractéristiques objectives de la contrôlabilité.
- Imprévisibilité : les événements inattendus, ou incertains rendent difficile l'anticipation et la préparation, ce qui peut susciter un inconfort, voir une anxiété anticipatoire.
- Nouveauté : une situation nouvelle/inconnue, peut être perçue comme stressante, car elle exige un effort d'adaptation et la mobilisation de ressources.
- Égo menacé : lorsqu'on perçoit qu'un aspect important de soi (e.g estime de soi, compétences, identité) est remis en question, cela peut déclencher une réaction de stress.

Les situations perçues comme stressantes possèdent généralement un ou plusieurs de ces éléments. Plus une situation cumule ces caractéristiques, plus elle sera perçue comme stressante

et sera susceptible d'engendrer un mécanisme de réponse de stress (CESH). L'anticipation d'un stresseur peut aussi suffire à déclencher un tel mécanisme (Paridon et al., 2017).

En conclusion, les facteurs de stress prennent des formes variées. Leur influence sur les personnes dépend à la fois de leur nature et des particularités individuelles, ce qui peut engendrer des réponses diversifiées. Les situations impliquant des stresseurs peuvent générer des réponses physiologiques, cognitives, comportementales, mais aussi affectives (Epel et al., 2018). Ces dernières constituent l'une des principales voies par lesquelles le stress se manifeste et influence l'adaptation (Gross, 2002). Nous nous intéresserons donc à présent aux états affectifs, aux théories qui permettent de les comprendre et aux moyens de les évaluer.

B. Les états affectifs : un cadre théorique hétérogène

On parle d' « états affectifs » pour désigner toutes les expériences « émotionnelles » (DeSteno et al., 2013). Cela inclut aussi bien des réactions émotionnelles brèves (e.g. joie, peur, tristesse) que des expériences plus durables, comme les humeurs (e.g. dépression, anxiété ; Epel et al., 2018). Toutefois, la distinction entre les différents processus affectifs, tels que l'affect, l'émotion, l'humeur ou le sentiment, ne fait pas l'objet d'un consensus dans la littérature scientifique[4]. L'existence de frontières rigides entre ces concepts fait toujours l'objet de discussions. Les principaux travaux sur le sujet s'opèrent dans le cadre des théories des émotions et soulèvent de nombreux et houleux débats dans la communauté scientifique. Cette section a pour objectif de présenter les grands courants théoriques sur les émotions et les divergences qu'ils suscitent.

[4] Notamment dans la recherche spatiale (Gatti et al., 2022).

1. De la difficulté de définir les émotions

La nature équivoque des émotions est depuis longtemps un sujet d'interrogation au sein de la communauté scientifique. En 1984, Fehr & Russell introduisirent leur article en disant : « Tout le monde sait ce qu'est une émotion, jusqu'à ce qu'on lui demande d'en donner une définition. Ensuite, il semble que personne ne le sache. » (Fehr & Russell, 1984). Cette remarque reste aujourd'hui encore d'actualité car, comme nous le verrons par la suite, ce concept ne fait toujours pas consensus.

Les émotions constituent un objet d'étude complexe, à l'intersection de nombreuses disciplines : psychologie, neurosciences, biologie, philosophie, anthropologie ou encore éthologie (Damasio, 2006; Darwin, 1872). Chacune de ces disciplines les appréhende selon ses propres cadres théoriques et méthodologiques, ce qui rend difficile l'homogénéisation des concepts et la comparaison des théories. Selon les chercheurs, les émotions peuvent alors être envisagées comme des comportements expressifs, des tendances à l'action, des réactions physiologiques, des évaluations cognitives ou encore des sentiments subjectifs (Coppin & Sander, 2016).

Par ailleurs, les émotions ne peuvent être considérées comme des phénomènes isolés. Elles sont profondément interconnectées avec d'autres phénomènes biopsychosociaux tels que la cognition, la motivation, la perception, la santé, la culture ou encore les interactions sociales (Damasio, 2006; Gil, 2009; Meiselman, 2016). Cette interdépendance rend d'autant plus difficile la délimitation des frontières de cet objet d'étude.

Par conséquent, il n'existe pas de définition des émotions qui fasse consensus au sein de la communauté scientifique. Kleinginna et Kleinginna (1981) avaient déjà illustré ce phénomène en recensant plus d'une centaine de définitions différentes, chacune mettant l'accent sur un aspect particulier des états affectifs. Des travaux récents confirment que cette absence d'unité perdure malgré de nombreuses tentatives de clarification conceptuelle (Walla et al., 2025).

Ainsi, Hartmann (2024) a recensé soixante-douze définitions différentes et proposé des critères communs, mais sans parvenir à une définition unifiée. Ce manque de consensus a conduit à l'émergence de théories parfois divergentes, voire incompatibles, en sciences affectives. Par conséquent, comme l'indique Anna Tcherkassof (2013), donner une définition précise de l'émotion implique inévitablement de choisir une approche théorique spécifique au détriment des autres. Il est donc préférable de connaître les différents travaux en science affective et leur conception des émotions plutôt que de chercher à fournir une définition consensuelle.

Ce chapitre et cette thèse n'ont pas vocation à faire une revue exhaustive et détaillée de chaque théorie des émotions. Toutefois, nous nous devons d'avoir un aperçu global des travaux appartenant à ce champ. Habituellement, les scientifiques distinguent trois grands courants de recherche (ou orientations théoriques) dans le domaine des sciences affectives. Il s'agit des courants des émotions de base, de l'évaluation (« appraisal ») et du constructivisme (Gendron & Barrett, 2009). Nous allons présenter brièvement chacun de ces courants.

2. Les théories des émotions de base

Les théories des émotions de base soutiennent l'existence d'un ensemble restreint d'émotions universelles, biologiquement ancrées et façonnées par l'évolution pour répondre à des besoins adaptatifs. Présentes chez tous les individus, quelles que soient leur culture ou leur éducation, elles serviraient de « briques de construction » pour des émotions plus complexes (Coppin & Sander, 2016).

L'idée d'émotions fondamentales n'est pas nouvelle : Descartes parlait déjà de « passions primitives » (Descartes, 1649). Mais c'est grâce aux travaux de Duchenne de Boulogne (Duchenne, 1876) et de Darwin, notamment dans « L'Expression des émotions chez l'homme et les animaux » (Darwin, 1872), que cette notion a acquis une base scientifique. Darwin proposa six émotions fondamentales (colère, peur, dégoût, tristesse, joie et surprise),

considérant qu'elles avaient une valeur adaptative. Paul Ekman a poursuivi ses travaux, en proposant des critères précis pour identifier les émotions de base, incluant universalité, mécanisme physiologique spécifique, ou apparition rapide et durée brève (Ekman, 1999). Les six émotions primaires de Darwin et Ekman (souvent appelées « Big Six », Prinz, 2004) demeurent toutefois discutées : certains travaux en proposent deux (Solomon, 1980), huit (Plutchik, 1980) ou dix (Izard, 1977).

Toujours dans une perspective évolutionniste, des études ont suggéré l'existence de substrats biologiques spécialisés pour l'apprentissage, le déclenchement, et l'expression de certaines émotions de base. Par exemple, un « centre nerveux » de la peur, situé au niveau de l'amygdale, se déclencherait automatiquement devant un danger (Öhman & Mineka, 2001). Ces travaux viennent ainsi soutenir l'idée que certaines émotions reposeraient sur des mécanismes neurobiologiques spécifiques, hérités de l'évolution, et qui fonctionneraient indépendamment de la culture ou de l'apprentissage.

Ces théories sont largement utilisées dans les sciences affectives et sont fréquemment mobilisées dans la conception populaire des émotions, où elles sont considérées comme des entités distinctes, identifiables et involontaires[5] (Barrett & Westlin, 2016). Mais plusieurs auteurs ont souligné l'influence de la culture (Gendron et al., 2014a; Kuppens et al., 2017) ou de l'information sociale (Mumenthaler & Sander, 2015) dans l'émergence et la reconnaissance des émotions, remettant en cause leur universalité (Nelson & Russell, 2013). Dans le prolongement de ces approches, une distinction est souvent faite entre des émotions « primaires », universelles, rapides et biologiquement programmées (e.g. peur, colère, joie), et des émotions « secondaires », plus complexes, qui impliqueraient des processus cognitifs,

[5] Par exemple, on dit souvent qu'un individu "a" une émotion ou qu'il peut "reconnaître" une émotion chez autrui, ce qui implique que ces émotions existeraient en tant qu'entités distinctes, identifiables et indépendantes de la volonté.

sociaux ou moraux plus élaborés (e.g. honte, jalousie, fierté) (Plutchik, 1980; Tracy & Randles, 2011).

3. Les théories de l'évaluation

Selon les théories de l'évaluation, les émotions résultent d'un processus cognitif de jugement et d'interprétation des situations ou des stimuli (l'évaluation, ou « appraisal »). Cette perspective diffère des approches biologiquement déterministes, qui voient les émotions comme des réponses directes et automatisées à certains stimuli, sans modulation cognitive significative (Coppin & Sander, 2016)

Au cœur des théories de l'évaluation se trouve le présupposé que les organismes examinent en permanence leur environnement et réagissent aux stimuli pertinents. La genèse d'une émotion commencerait par un processus d'évaluation concernant un stimulus ou une situation particulière. Cette évaluation détermine alors la nature, l'intensité et la qualité de l'émotion ressentie (Moors et al., 2013). Ce processus peut être rapide et automatique (par exemple, une peur déclenchée par un bruit soudain) ou plus réfléchi, notamment dans des contextes sociaux et culturels complexes. (Moors et al., 2013).

L'une des premières contributions majeures aux théories de l'évaluation est celle de Magda Arnold. Elle a soutenu que les émotions ne découlent pas directement des stimuli, mais d'un processus de jugement cognitif par lequel l'individu attribue une signification personnelle à la situation. En introduisant cette idée d'« appraisal », Arnold a posé les bases d'une conception cognitive des émotions (Arnold, 1960). Plus tard, Richard Lazarus a approfondi cette perspective dans ses travaux sur le stress. Il a proposé un processus d'évaluation en deux étapes : l'évaluation primaire, qui détermine la pertinence et la signification d'un stimulus en fonction des objectifs de l'individu, puis l'évaluation secondaire, qui apprécie les ressources de l'individu pour y faire face (Lazarus, 1966). Dans sa « théorie transactionnelle du stress », le

stress psychologique résulterait d'un déséquilibre perçu entre les exigences de la situation (évaluation primaire) et les ressources de l'individu pour y répondre (évaluation secondaire)(Lazarus & Folkman, 1984). Cette approche a fortement influencé les travaux ultérieurs sur les émotions et la compréhension du processus d'évaluation. Dans cette perspective, les émotions et le stress partagent un même fondement cognitif : ils dépendent de l'évaluation subjective de la situation et des capacités d'adaptation de l'individu.

Suite aux contributions d'Arnold et de Lazarus, d'autres chercheurs (par exemple, (Scherer, 1984; Smith & Ellsworth, 1985) ont proposé des modèles plus détaillés et plus complexes du processus d'évaluation. Les approches récentes, multidimensionnelles et dynamiques, considèrent différents critères sur lesquels se baserait l'évaluation pour engendrer une émotion, tels que la nouveauté, le caractère agréable ou désagréable, la prévisibilité, la pertinence par rapport aux objectifs de l'individu, ou la conformité aux normes et valeurs (Lazarus, 1991; Moors et al., 2013; Sander, 2013; Scherer et al., 2001). De plus, les mécanismes d'évaluation ne seraient pas figés. L'individu pourrait réévaluer une situation à la lumière de nouvelles informations (« reappraisal ») (Jamieson et al., 2013; Lazarus & Folkman, 1984). Les théories de l'évaluation soulignent ainsi la variabilité des réponses émotionnelles: deux personnes pourraient réagir différemment à une même situation, et un même individu pourrait avoir des réactions différentes à des moments distincts (Coppin & Sander, 2016).

4. Les théories constructivistes

Selon les théories constructivistes, les émotions ne sont pas des entités innées, fixes et universelles. Il s'agirait de phénomènes psychologiques flexibles qui ont été appris, façonnés par l'expérience et le contexte. Ces approches reposent sur trois principes fondamentaux. Tout d'abord, (1) les émotions ne possèderaient pas de mécanismes spécifiques. Il n'existerait pas de processus psycho-physiologiques universels et propre à chaque émotion (Barrett, 2013).

Ainsi, la « joie », la « colère » ou la « peur » ne seraient pas nécessairement accompagnées de manifestations comportementales, biologiques, cognitives ou psychologiques homogènes. Ces manifestations varieraient selon la situation, l'individu et ses expériences passées (Barrett, 2012; Zachar, 2022)[6]. Plutôt que d'être considérée comme une anomalie, cette variabilité est ici considérée comme une caractéristique inhérente au phénomène émotionnel (Lindquist et al., 2013). Ensuite, (2) les émotions partageraient des mécanismes avec les autres processus mentaux. Elles reposeraient sur des mécanismes psychobiologiques généraux/non spécialisés (e.g. réseaux neuronaux, processus électrophysiologiques). Ainsi, les émotions fonctionneraient sur la base de processus communs à d'autres phénomènes mentaux tels que les cognitions, ou les croyances (Barrett & Westlin, 2016). Parmi ces mécanismes figure notamment l'intéroception, c'est-à-dire la manière dont le système nerveux détecte et interprète les sensations internes (Berntson & Khalsa, 2021). Ces signaux corporels, grossiers et non spécifiques, se manifestent consciemment et inconsciemment sous la forme d'un «affect central» (ou « core affect »), qui intègre à la fois une valence hédonique (sensation agréable versus désagréable) et un niveau d'activation (bas/relaxé versus élevé/excité)(Russell & Barrett, 1999). L'affect central, en tant que processus non spécialisé, est impliqué dans la perception, la cognition, les actions, mais aussi la construction des émotions (Fridman et al., 2019). Enfin, selon les théories constructivistes, (3) les états affectifs seraient étroitement liés au contexte d'apparition. Les facteurs sociaux, culturels, biologiques ou personnels moduleraient la façon dont un individu interprète une situation et manifeste une émotion (Barrett & Westlin, 2016). Le contexte ne serait donc pas un simple paramètre externe qui influence l'émotion ; il en serait une composante essentielle (Barrett, 2022). Ainsi, on ne pourrait évaluer une émotion prise isolément, sans tenir compte de la situation dans laquelle elle émerge (Greenaway et al., 2018).

[6] Par exemple, la "joie" n'est pas limitée à un ensemble spécifique de caractéristiques, mais peut se manifester de différentes manières (e.g. être diplômé, manger, être avec des proches…). Les expressions de cette émotion, telles que rire, sourire, pleurer ou frapper du poing sur une table, varient selon la situation.

Les théories constructivistes se divisent en différents courants, chacun mettant l'accent sur des aspects particuliers de la construction des émotions. Le constructivisme social insiste sur l'influence des contextes sociaux, du langage, et de la culture sur la formation de concepts émotionnels (Mesquita et al., 2016). Le constructivisme psychologique souligne le rôle de processus mentaux de base, qui permettent de donner du sens aux sensations internes en fonction du contexte et d'engendrer une émotion (e.g. intéroception ; Barrett, 2006). Enfin, le neuroconstructivisme se focalise sur les influences réciproques entre les expériences émotionnelles et l'organisation neuronale (Westermann et al., 2010). Lisa Feldman Barrett a regroupé ces différents courants dans une « théorie des émotions construites » (TEC ; Barrett, 2017b). Elle peut être résumée comme ceci : « le cerveau donne du sens aux informations sensorielles et guide les actions en mobilisant des « concepts » construits lors d'expériences antérieures ou en interaction avec l'environnement (physique, social, culturel). Lorsque les concepts impliqués sont émotionnels, le cerveau construit une instance d'«émotion» » (Barrett, 2017a, 2017b).

En résumé, selon les théories constructivistes, les émotions sont des concepts construits et variables, issus de l'interaction entre le cerveau, le corps et l'environnement, afin de donner du sens à une situation ou un contexte biopsychosocial (Barrett, 2017b; Fridman et al., 2019).

5. Une autre façon d'envisager les sciences affectives

Dans notre cadre théorique, nous avons distingué trois grands courants en sciences affectives : les théories des émotions de base, les théories de l'évaluation et les théories constructivistes. Toutefois, certains auteurs proposent de repenser cette classification traditionnelle des théories. Dans son chapitre « Navigating the science of emotion » du livre « Emotion measurement », Lisa Feldman Barrett soulève deux critiques à l'égard de cette vision des sciences affectives (Meiselman, 2016).

Selon elle, un problème inhérent au cadre théorique traditionnel est la catégorisation des théories émotionnelles. Cela aurait tendance à englober sous une même bannière des théories hétérogènes, ce qui masquerait les nuances entre elles au profit d'une vision minimaliste des différents courants théoriques (il est plus facile de concevoir les différentes théories comme trois grands courants homogènes plutôt que comme une myriade de travaux hétérogènes). Les théories de l'évaluation cognitive, par exemple, ne sont pas toutes identiques et varient entre elles (Barrett & Westlin, 2016). Deux principales variantes de ces théories peuvent être identifiées :

(1) Théories de l'évaluation causale ou classique : Ces théories soutiennent que les évaluations sont des mécanismes cognitifs bien identifiés qui, lorsqu'ils sont mobilisés, causent les émotions. Ces théories considèrent les mécanismes cognitifs comme étant des processus discrets (dans le sens « dénombrable ») ayant des fonctions spécifiques et des bases biologiques pré-définies (un peu comme une suite d'algorithmes en séquence dans un ordinateur qui auraient chacun une tâche spécifique)(Sander et al., 2005).

(2) Théories de l'évaluation constructive ou constituée : Contrairement à l'approche causale, ces théories considèrent les évaluations comme des caractéristiques descriptives des émotions, similaires à la valence et à l'éveil de l'affect central. Par exemple, une émotion associée à l'évaluation de "nouveauté" signifie que l'individu expérimente quelque chose comme étant nouveau, sans postuler l'existence d'un mécanisme neurocognitif spécifique de détection de la nouveauté. Les travaux appartenant à cette branche théorique sont agnostiques quant aux mécanismes d'évaluation et distinguent l'expérience subjective d'un mécanisme biologique (de la même façon que les théories des émotions construites ne considèrent pas de base ou de mécanisme biologique dédié aux émotions) (Ortony & Clore, 2014).

Ainsi, les théories de l'évaluation offrent une variété de perspectives qui, bien que relevant du même courant théorique, diffèrent dans leurs approches et leurs implications.

A l'inverse, selon Lisa Feldman Barrett, le cadre théorique traditionnel masquerait les similitudes entre des théories appartenant à des branches différentes. Elle fait alors référence à la notion d'« essentialisme ». Cette approche philosophique considère que pour chaque catégorie ou type d'émotion, il existerait une essence, une nature ou un mécanisme fondamental qui la caractérise. Cette perspective a façonné la méthodologie, l'interprétation et même les débats au sein de la communauté scientifique sur ce que sont les émotions et comment elles devraient être étudiées (Barrett & Westlin, 2016). Il existerait deux formes principales d'essentialisme :

(1) Essentialisme Lockéen : Inspiré de la philosophie de John Locke, ce type d'essentialisme suggère que chaque émotion ou phénomène psychologique est provoqué par une cause sous-jacente unique et spécifique. Par exemple, selon les théories des émotions de base, l'expérience de la peur serait le résultat d'un mécanisme spécifique de "peur" (souvent associé à l'activation de l'amygdale dans le cerveau ; Öhman & Mineka, 2001), distinct des autres états psychologiques. Cette conception suppose qu'il existe un parallèle direct entre un mécanisme biologique et l'expérience émotionnelle qu'il engendre (par exemple : Saarimäki et al., 2016).

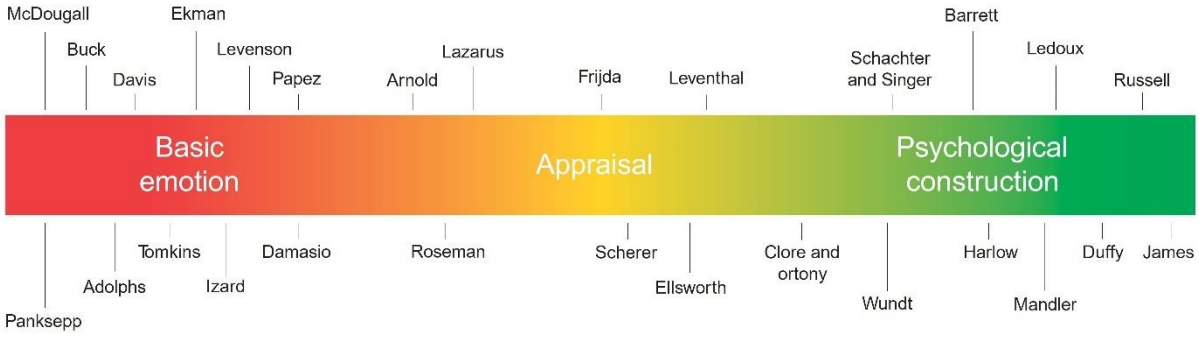
(2) Essentialisme Platonicien : Inspiré de la philosophie de Platon, ce type d'essentialisme suggère que chaque émotion/catégorie émotionnelle ou processus mental possède une "empreinte" ou une manifestation prototypique qui découle de leur essence lockéenne. Elles auraient un schéma spécifique de manifestations concrètes et mesurables (e.g. changements faciaux, comportementaux, physiologiques, etc.). Bien qu'il puisse y avoir des variations dans les manifestations d'une émotion spécifique, un modèle sous-jacent demeurerait constant (Meiselman, 2016).

Ces deux types d'essentialisme se retrouvent à différents degrés dans les théories des émotions de base ainsi que dans les théories de l'évaluation classique[7]. Toutefois, d'autres modèles, comme les théories constructivistes et les théories de l'évaluation constructive s'en éloignent dans leurs approches des émotions. Ainsi, des travaux appartenant à différents courants théoriques possèdent des similitudes dans leurs démarches.

Afin de répondre à ces problématiques, Lisa Feldman Barrett propose une autre perspective non plus catégorielle (3 courants théoriques) mais dimensionnelle (Barrett & Westlin, 2016). Elle suggère de concevoir les différents travaux en sciences affectives selon un continuum symbolisant le degré d'essentialisme accepté par les théories (voir Figure 1). L'un des pôles de cet axe représente les travaux qui admettent le plus d'essentialisme dans leur conception des émotions (la vision classique des émotions). L'autre pôle ou extrémité est caractérisé par les théories qui admettent peu ou pas d'essentialisme dans leur approche des émotions (approche constructiviste des émotions). Historiquement, les recherches en sciences affectives ont tendance à s'aligner sur l'une des deux positions principales. Les théories des émotions de base ainsi que les théories de l'évaluation classiques tendent à s'aligner sur la vision classique des émotions, tandis que les théories de l'évaluation constructive et les théories constructivistes ont tendance à adopter une approche constructiviste. Nous utiliserons ce nouveau cadre théorique dans la prochaine partie.

[7] Charles Darwin est connu pour s'être opposé à l'essentialisme dans le champ de la biologie avec son ouvrage « L'Origine des espèces » (On the Origin of Species ; Darwin, 1859). Avant Darwin, il était courant de considérer les espèces comme des entités fixes et immuables, chaque espèce ayant une essence unique qui la distinguait des autres. Dans son travail influent sur la sélection naturelle, il a montré que la nature des espèces est plastique et en constante évolution. Une espèce n'est qu'une population d'individus extrêmement variables. Au lieu de catégories fixes, il y a un continuum de variation. En parallèle, ce scientifique s'est fait connaître dans le champ de la psychologie avec des travaux soutenant des thèses essentialistes (Darwin, 1872).

Figure 1 : Organisation spectrale des théories en sciences affectives selon Lisa Feldman Barrett



Issue de (Barrett & Westlin, 2016). Représentation visuelle des théories émotionnelles ainsi que des grands courants théoriques en sciences affectives selon un continuum symbolisant l'acceptation d'une approche essentialiste des émotions. Les théories les plus essentialistes sont situées à gauche du spectre tandis que celles qui le sont le moins sont situées à droite et se rapprochent du constructivisme.

En somme, les émotions sont des phénomènes complexes, hétérogènes et encore débattus dans la littérature scientifique. Toutefois, pour les étudier de manière empirique, il est nécessaire de les opérationnaliser, c'est-à-dire de les traduire en indicateurs observables et mesurables. Cette étape, qui permet de passer du concept théorique à l'outil de mesure, représente un défi épistémologique et méthodologique. Dans la section suivante, nous explorerons plusieurs approches utilisées pour évaluer les états affectifs.

C. Mesurer les états affectifs

1. Considérations épistémologiques : Essentialisme versus Nominalisme

Lorsqu'on utilise des concepts émotionnels (e.g. pour une recherche, en pratique clinique), on en adopte une définition pour identifier distinctement l'objet d'investigation. Or, comme nous l'avons vu, utiliser une conception de l'émotion revient à adopter une orientation théorique spécifique au détriment d'autres (Tcherkassof, 2013). Nous allons voir qu'un tel choix n'est pas anodin et influence les méthodologies permettant d'évaluer des émotions.

En ce qui concerne la mesure des états affectifs, deux paradigmes distincts peuvent être identifiés. Des chercheurs comme Ekman soutiennent une vision classique des émotions selon laquelle certaines émotions de base sont universelles (à gauche du modèle en continuum - Barrett & Westlin, 2016; Ekman, 1984). D'autres, comme Russell (Russell, 2003), arguent que les émotions sont principalement construites culturellement (approche constructiviste, à droite du modèle en continuum). Ce débat met en lumière deux interprétations divergentes des émotions et de leurs mécanismes sous-jacents. Ainsi, on ne mesurera pas les émotions de la même façon selon l'approche que l'on choisit et la conception qu'on a des émotions.

a) La Vision Classique des émotions

Cette approche, représentée par les théories des émotions de base et les théories de l'évaluation classique, a tendance à utiliser une perspective essentialiste. De ce point de vue, les émotions ne sont pas des dérivés de nos perceptions ou pensées. Elles sont des phénomènes catégoriquement différents. De plus, chaque émotion (e.g. colère, tristesse, peur), est considérée comme distincte des autres ; chacune ayant évolué dans un but adaptatif singulier[8]. Chaque émotion aurait sa propre origine et son propre mécanisme causal. Certaines de ces émotions seraient si fondamentales qu'elles ne pourraient être réduites ou décomposées en éléments plus simples. Par exemple, la tristesse ne serait pas simplement le résultat d'une combinaison de cognitions, de perceptions, ou d'autres états affectifs, mais possèderait une spécificité irréductible qui la rendrait distincte des autres émotions. Ces émotions fondamentales ou de « base » sont comme des piliers sur lesquels se construirait toute l'expérience émotionnelle

[8] En raison des travaux de Darwin sur les émotions de base, l'approche classique des émotions se réclame du courant évolutionniste de la psychologie. Cependant, sur ce point précis, les deux courants ne sont pas opposés car l'approche constructiviste s'en revendique également. Leur différence repose sur le fait qu'ils n'acceptent pas les mêmes principes Darwiniens. Le courant classique, d'orientation essentialiste, pense les émotions comme des objets psychobiologiques distincts les uns des autres, et issus d'un processus évolutif dans un but adaptatif. Le courant constructiviste, ayant une orientation épistémologique nominaliste, soutient que les émotions sont des catégories conceptuelles, composées de populations d'éléments hautement variables (tout comme les espèces sont des catégories conceptuelles et non biologiques) (Barrett, 2013).

(Prinz, 2004). Elles sont souvent considérées comme universelles, transcendant les cultures et les époques, et se manifestant chez tous les individus indépendamment de leur contexte social ou culturel (Ekman, 1999). En somme, selon l'approche classique, chaque émotion possèderait une essence qui lui serait propre. Ces essences, inspirées des philosophies de Locke et Platon, serviraient de fondement psycho-biologique à chaque état affectif. L'essence lockéenne (i.e. ce qui « cause » l'émotion) peut être biologique (e.g. l'activation d'un ensemble de neurones) ou psychologique (e.g. un ensemble d'évaluations cognitives). L'essence platonicienne (i.e. comment l'émotion se manifeste) renverrait quant à elle à une "empreinte" caractéristique, commune à toutes les instances d'une émotion (Tracy & Randles, 2011). Il peut s'agir de manifestations externes et/ou physiologiques, telles que les expressions faciales ou les réponses du SNA.

Par conséquent, adopter une perspective classique des émotions a de nombreux impacts sur les moyens de les mesurer (Barrett & Westlin, 2016). Tout d'abord, si les émotions sont des catégories biologiques, distinctes et autonomes, alors elles devraient être mesurables de manière objective. L'approche classique suggère que des outils indépendants de l'observateur sont les plus appropriés pour cette tâche. Il peut s'agir de moyens divers tels que l'électromyographie faciale, l'analyse comportementale/des expressions faciales, les mesures de l'activité du SNA, ou l'analyse de texte (Meiselman, 2016). Ensuite, toutes les mesures devraient théoriquement être corrélées entre elles, car elles auraient toutes une cause commune : l'essence de l'émotion. Les auto-évaluations feraient toutefois exception. Elles sont vues comme une méthode de mesure potentiellement défaillante, car elles dépendent de la conscience subjective de l'individu. Les mesures dites « objectives » sont donc souvent considérées comme plus fiables dans la vision classique[9]. Enfin, si les émotions sont des entités

[9] La pertinence des auto-évaluations ne pourrait être complètement écartée. Mais il serait nécessaire d'évaluer scientifiquement leur exactitude en les comparant à des mesures objectives. Si les auto-évaluations ne sont pas en accord avec les mesures objectives, elles sont souvent considérées comme inexactes.

universelles, alors les outils de mesure devraient révéler les mêmes mécanismes psycho-physiologiques pour chaque émotion, indépendamment des individus et des contextes culturels. On devrait aussi retrouver les mêmes mécanismes dans d'autres espèces.

Ainsi, la vision classique des émotions engendre une série d'implications méthodologiques qui influencent la manière dont les chercheurs mesurent et étudient ces objets. Cependant, cette perspective, bien que largement adoptée, ne fait pas consensus dans la littérature. La plupart des présupposés que nous venons d'expliquer sont sujets à débats dans la communauté scientifique et des opinions divergentes ont été formulées contre l'universalité des émotions (Lindquist et al., 2013; Nelson & Russell, 2013).

Tout d'abord, les essences lockéennes des émotions ne sont pas validées par la littérature. Pour le moment, les méta-analyses des études en neuroimagerie ne parviennent pas à identifier des régions cérébrales ou des réseaux neuronaux dédiés à une émotion spécifique (Clark-Polner et al., 2017; Lindquist et al., 2012).

Les données issues de la recherche ne soutiennent pas non plus les essences platoniciennes. Quelques travaux ont pu rapporter l'existence de mécanismes spécifiques du SNA pour chaque émotion (Kreibig, 2010). Toutefois, les méta-analyses ne corroborent pas ces résultats (Lindquist et al., 2013; Siegel et al., 2018). Une grande diversité a été observée tant au sein des catégories d'émotions qu'entre elles, suggérant une variabilité plutôt qu'une spécificité dans les mécanismes biologiques des émotions. De même, les expressions faciales considérées comme spécifiques à chaque émotion, telles que proposées par Darwin ou Ekman (Darwin, 1872; Ekman & Rosenberg, 2005), ne sont pas uniformément validées par les études modernes, en particulier celles utilisant l'électromyographie faciale. Pour le moment, les sciences affectives ne sont donc pas en mesure d'identifier des mouvements faciaux spécifiques à une émotion, et qui seraient reconnaissables depuis un point de vue externe (Barrett et al., 2019; Gendron et al., 2018). Par ailleurs, il existe une grande disparité dans la reconnaissance des expressions faciales

émotionnelles, notamment en fonction du contexte (Barrett et al., 2011; Kosti et al., 2017) et de la culture (Elfenbein & Ambady, 2002; Gendron et al., 2014b; Russell, 1994).

Plusieurs auteurs ont également souligné des difficultés de réplicabilité concernant des découvertes issues des théories des émotions de base. En effet, certaines études ont trouvé des schémas/patterns (e.g. faciaux, neuronaux, autonomes…) correspondant à des émotions spécifiques. Toutefois, lorsque cela arrive, ces résultats parviennent difficilement à être reproduits dans des expérimentations postérieures qui se font dans d'autres environnements, d'autres situations ou auprès d'autres populations (Barrett & Westlin, 2016).

Les théories classiques des émotions sont aussi remises en question dans la littérature car elles seraient basées sur une population WEIRD (pour Western, Educated, Industrialized, Rich and Democratic = Occidentale, Eduquée, Industrialisée, Riche et Démocratique ; Henrich et al., 2010). Ce biais culturel pourrait expliquer partiellement les différences interindividuelles observées dans les études transculturelles (Barrett & Westlin, 2016; Gendron et al., 2014b).

En conclusion, bien que les principes de la vision classique soient largement acceptés et utilisés comme point de départ pour de nombreuses études en sciences affectives, ils ne font pas consensus dans la littérature. Certains auteurs proposent alors de réviser la conception classique des émotions et d'investiguer des approches alternatives telles que le constructivisme (Barrett & Westlin, 2016).

b) L'approche constructiviste

Alors que la vision classique a tendance à adopter un point de vue essentialiste, le constructivisme adopte une perspective épistémologique nominaliste. Il remet en question l'idée d'émotions universelles et biologiquement déterminées. Ce courant soutient que les émotions sont construites par l'individu, en fonction de ses expériences passées, de son contexte culturel et social, et des informations sensorielles. Dans cette perspective, les émotions ne sont pas

préprogrammées ou figées, mais sont plutôt le résultat de l'interaction complexe entre différents systèmes biologiques, psychologiques, et environnementaux. Le constructivisme reconnaît également la variabilité intrinsèque et la fluidité des émotions, suggérant qu'une émotion donnée peut se manifester différemment selon les individus et les contextes (Zachar, 2022).

Tout comme la vision classique, l'approche constructiviste a des implications pratiques sur l'évaluation des émotions. Tout d'abord, les différentes modalités de mesures telles que les mouvements faciaux, la réactivité du SNA, ou les acoustiques vocales, bien qu'elles puissent toutes signaler des aspects de l'émotion, ne seraient pas nécessairement corrélées entre elles (Mauss & Robinson, 2009). Par exemple, une personne peut ressentir une anxiété intense sans manifester de signes faciaux évidents. De la même manière, une réaction autonome, comme une augmentation du rythme cardiaque, peut être déclenchée par une variété de stimuli, pas nécessairement émotionnels. Cela signifie que chaque modalité de mesure peut apporter des informations distinctes et non redondantes sur l'épisode émotionnel en cours. Ainsi, plusieurs auteurs considèrent ces paramètres comme complémentaires plutôt que substituables (Mauss & Robinson, 2009). Par conséquent, une mesure objective isolée, quelle qu'elle soit, est insuffisante pour capturer l'expérience émotionnelle dans son entièreté. Une approche multimodale, intégrant plusieurs sources d'information, permettrait d'avoir une perspective plus globale (Barrett & Westlin, 2016). Toutefois plusieurs auteurs soulignent qu'il n'existerait pas de schémas émotionnels universels (une essence), même en combinant différents paramètres. Les mécanismes affectifs varieront en fonction des cultures et des individus, mais évolueront aussi chez une même personne au cours du temps et selon les contextes. Ainsi, plutôt que de chercher à établir des normes universelles sur différents paramètres, certains auteurs recommandent d'adopter une démarche inductive, cherchant à comprendre comment ces multiples mesures interagissent au sein d'un même individu et à travers différentes situations (Barrett & Westlin, 2016).

Selon l'approche constructiviste, les émotions ne seraient pas des processus indépendants de l'individu. Au contraire, elles seraient créées au sein d'un esprit humain. Ainsi, une émotion ne serait pas « détectée » mais ressentie. Mesurer une émotion reviendrait donc à évaluer une expérience intrinsèquement subjective, liée à l'individu et à sa perception. Cette subjectivité se mesure couramment grâce à des outils auto-rapportés (e.g. questionnaires, échelles). Toutefois cette méthode a des limites qui doivent être évoquées (Barrett & Westlin, 2016). La première et la plus intuitive est celle de l'honnêteté des interrogés. Pour de multiples raisons indépendantes de la situation, ou liées aux conditions de l'administration de l'outil, les individus ont la possibilité de ne pas rapporter leur expérience émotionnelle telle qu'ils la perçoivent (e.g. biais de désirabilité sociale, biais de genre, biais culturels… ; Lim, 2016). Deuxièmement, la nature même de l'auto-évaluation suppose que l'individu est pleinement conscient et capable d'articuler son état. Cependant, la capacité à nommer précisément une émotion peut être entravée par divers facteurs, tels que le manque de vocabulaire émotionnel ou les influences culturelles qui peuvent limiter ou orienter l'expression de certaines émotions. Troisièmement, les mots et les symboles utilisés par les outils de mesure pour décrire ou évaluer une émotion peuvent eux-mêmes influencer l'expérience émotionnelle. Par exemple, si un instrument de mesure propose des formulations particulières pour décrire une émotion, l'individu peut être influencé par ces termes, modifiant ainsi son expérience émotionnelle. Ce phénomène met en évidence l'interaction complexe entre le langage, la cognition et l'expérience émotionnelle. Quatrièmement, le questionnaire pourrait ne pas être tout à fait adapté à l'expérience du sujet. Lorsqu'on mesure des émotions, celles-ci peuvent varier en fonction des individus et des situations (Barrett & Bliss-Moreau, 2009; Wilson-Mendenhall et al., 2011). Par exemple, une émotion comme la peur ne sera pas la même dans un contexte ou dans un autre, tout comme elle ne sera pas vécue ni manifestée pareillement selon les individus. L'individu qui répond au questionnaire pourrait alors trouver que les mots et concepts utilisés ne décrivent

pas exactement son état. Il aurait alors tendance à adapter ses réponses pour correspondre à la demande de l'outil, au risque de trahir son expérience subjective. Enfin, cinquièmement, les auto-évaluations peuvent parfois être en décalage avec d'autres mesures dites « objectives » de l'émotion, telles que les réactions physiologiques. Mais dans le cadre de l'approche constructiviste, cela ne discrédite pas nécessairement la validité de l'auto-évaluation.
Toutefois, selon l'approche constructiviste, malgré les multiples limites des auto-évaluations, elles resteraient l'outil le plus pertinent pour mesurer des processus affectifs intrinsèquement subjectifs. Lisa Feldman Barrett résume cette conclusion par une courte affirmation : « Pour savoir si les gens ressentent une émotion, il faut leur demander » (Barrett & Westlin, 2016).

En résumé, les sciences affectives sont traversées par de grandes divergences, tant sur la définition des états affectifs que sur la compréhension de leurs mécanismes et de leurs modes d'évaluation. Aucun consensus n'existe à ce jour, mais des arguments récents issus de la littérature tendent à remettre en question la vision classique au profit des conceptions constructivistes des émotions. L'approche constructiviste propose que les émotions ne seraient pas des entités biologiques universelles qui peuvent être étudiées « objectivement ». Ce seraient plutôt des phénomènes variables, construits par les individus et façonnées par la perception, la culture, et l'interaction sociale. Leur mesure dépendrait donc de la personne qui les expérimente et de sa subjectivité. Actuellement, nous ne disposerions pas d'outils plus efficaces que les mesures auto-rapportées telles que les questionnaires ou les échelles pour évaluer un état émotionnel. Des mesures dites « objectives » pourraient être utilisées en complément de ces dernières mais ne pourraient pas les supplanter (Barrett & Westlin, 2016; Crosswell & Lockwood, 2020).

Après avoir présenté ces différentes perspectives théoriques, nous allons désormais examiner les approches méthodologiques qui permettent concrètement d'évaluer les états affectifs.

2. Considérations méthodologiques : des approches variées

La mesure des états affectifs représente un défi pour les scientifiques, tant cet objet d'étude est complexe. Il n'existe pas de méthode unique ou universelle pour les évaluer. Les chercheurs disposent de différents outils, issus de champs disciplinaires variés, permettant de capturer différents aspects du vécu affectif (e.g. dimensions subjectives, réponses physiologiques ; Meiselman, 2016).

Cette section propose un aperçu de quelques méthodes utilisées pour évaluer les états affectifs. Nous distinguerons trois grandes catégories : les mesures auto-rapportées, reposant sur la subjectivité du ressenti ; les mesures physiologiques, qui s'appuient sur les marqueurs corporels ; et les mesures cognitives, qui portent sur les liens entre les états affectifs et le traitement de l'information. L'objectif est de mettre en lumière la richesse, les limites, et la complémentarité de ces approches.

a) Les mesures auto-rapportées

L'auto-évaluation constitue l'une des approches les plus répandues pour appréhender les états affectifs. Elle consiste à demander directement à l'individu de décrire son vécu psychologique. Cette démarche s'inscrit dans l'idée que la personne concernée est une source légitime pour témoigner de son expérience affective. Concrètement, il s'agit de demander aux individus d'exprimer leurs affects à travers des questionnaires ou des échelles permettant de quantifier l'intensité, la fréquence ou la qualité de certains ressentis.

Les auto-évaluations permettent d'explorer différents niveaux de l'expérience affective. Elles peuvent être organisées autour de dimensions générales, comme la valence (agréable/désagréable) et le niveau d'éveil (calme/agité) (en lien avec le concept d'affect central)(Bradley & Lang, 1994). Mais elles peuvent aussi cibler des états mentaux plus spécifiques (Cohen et al., 1983; Spielberger, 2010). Certaines visent à mesurer des états

émotionnels ponctuels (réponses brèves, spécifiques, souvent déclenchées par un événement précis ; e.g. joie, tristesse), tandis que d'autres portent sur des modifications plus diffuses de l'humeur (états prolongés, moins intenses, sans déclencheur immédiat identifiable ; e.g. dépression, anxiété)(Gross, 2002). Ces instruments permettent ainsi d'évaluer aussi bien des affects positifs que négatifs, ou encore les deux simultanément (Watson et al., 1988).

Les outils d'auto-évaluation présentent plusieurs avantages. D'un point de vue opérationnel, ils sont simples d'utilisation, peu coûteux, rapides à administrer et facilement reproductibles. Ils sont particulièrement adaptés aux environnements extrêmes ou confinés, où l'autonomie des participants est requise et où l'intervention directe d'un évaluateur est limitée. De plus, ces outils offrent un aperçu direct, un témoignage immédiat, de la perception subjective de l'individu sur son état affectif, ce qui ne peut être capturé par des mesures dites « objectives » (Alfano et al., 2018; Poláčková Šolcová et al., 2014). Cependant, ces approches présentent également des limites (voir section précédente). Elles reposent sur la capacité des individus à identifier, différencier et exprimer leurs états internes, or cette compétence varie selon les personnes (Alfano et al., 2018). De plus, les réponses fournies pourraient ne pas toujours refléter fidèlement la réalité subjective : elles peuvent être influencées par des biais cognitifs, la mémoire, la tendance à donner une image valorisante de soi ou encore le désir de se conformer aux attentes perçues de l'évaluateur. L'auto-évaluation expose ainsi au risque que l'état psychologique déclaré ne corresponde pas entièrement à l'état affectif réellement vécu. (Barrett & Westlin, 2016).

En définitive, les mesures auto-rapportées représentent un des principaux outils pour étudier des états affectifs. Elles éclairent un aspect qui ne peut être appréhendé par aucune autre méthode : la perception subjective du vécu. Mais leur interprétation exige prudence, car elles demeurent sensibles à des biais et dépendent des compétences introspectives de l'individu.

b) Les mesures physiologiques

Les états affectifs s'accompagnent fréquemment de modifications physiologiques (Meiselman, 2016). Ces modifications reposent sur des mécanismes adaptatifs, comme l'allostasie, qui permet à l'organisme de maintenir un équilibre dynamique face aux contraintes de l'environnement et des besoins internes (McEwen & Wingfield, 2003; Sterling & Eyer, 1988). Dans notre domaine de recherche, les mesures physiologiques visent à capter ces ajustements corporels afin d'identifier la présence ou l'intensité d'un état affectif. Elles permettent notamment d'appréhender certains aspects de l'activité émotionnelle, comme l'activation physiologique ou l'éveil affectif (arousal) (Colombetti & Harrison, 2018; Godoy et al., 2018).

Le système nerveux joue un rôle majeur dans la genèse et la régulation des états affectifs. Le système nerveux central, en interaction avec les autres systèmes de l'organisme, intègre les stimuli externes et internes, et coordonne la mise en œuvre de réponses physiologiques (Godoy et al., 2018). Parmi ces manifestations corporelles, les activités du système nerveux autonome (SNA) et du système endocrinien occupent une place prépondérante et sont particulièrement étudiées dans les sciences affectives. Leur évaluation offre un accès indirect à divers processus affectifs.

Le SNA est une composante du système nerveux périphérique. Il joue un rôle dans la régulation des fonctions corporelles involontaires, telles que le contrôle cardiaque ou la transpiration (McCorry, 2007). Il se divise en deux branches principales : le système nerveux sympathique (SNS) et le système nerveux parasympathique (SNP). Alors que le premier est davantage tourné vers l'activation et la mobilisation énergétique, le second est plutôt orienté vers le repos, la conservation et la régénération des ressources corporelles (McCorry, 2007). Lors d'un épisode de stress ou d'émotion intense, le SNS est rapidement activé. Cela entraîne une série de réponses physiologiques telles qu'une augmentation de la fréquence cardiaque (FC), une

diminution de la variabilité de la fréquence cardiaque (HRV = Heart Rate Variability), ou une activation des glandes sudoripares (i.e. de petites glandes situées dans la peau qui produisent la sueur) (Giannakakis et al., 2019; Kołodziej et al., 2019). Le SNS stimule aussi les glandes médullosurrénales, ce qui provoque la libération de catécholamines (adrénaline et noradrénaline) qui favorisent et prolongent les modifications physiologiques évoquées précédemment (Ziegler, 2012). Parallèlement à l'activation du SNS, le SNP diminue son activité (Ziegler, 2012). Ces ajustements allostatiques optimisent la redirection des ressources de l'organisme là où elles sont le plus nécessaires (Sterling, 2012). L'activité du SNA peut être appréhendée à l'aide de différents indicateurs, tels que l'activité cardiaque ou l'activation des glandes sudoripares. Parmi les mesures les plus couramment utilisées pour les évaluer figurent des enregistrements électrophysiologiques, tels que l'électrocardiogramme (ECG) et l'activité électrodermale (AED) (Giannakakis et al., 2019). L'ECG enregistre l'activité électrique du cœur, ce qui permet d'obtenir la fréquence cardiaque (FC) et d'en calculer sa variabilité (HRV). La variabilité cardiaque correspond aux fluctuations de l'intervalle entre deux battements, et reflète l'équilibre dynamique entre les branches sympathique et parasympathique du SNA. L'AED est évaluée à partir de la conductance cutanée (Skin Conductance Level - SCL), c'est-à-dire la capacité de la peau à conduire l'électricité. Celle-ci dépend de l'activation des glandes sudoripares : plus elles s'activent, plus la conductance cutanée augmente. Ces différents indicateurs permettent de suivre l'intensité de l'activation physiologique lors de manifestations affectives ou face à des situations de stress (Giannakakis et al., 2019).

Le système endocrinien est aussi impliqué dans les manifestations physiologiques du stress et des états affectifs. Lors d'un épisode prolongé (e.g. contrainte qui perdure dans le temps, stress chronique), l'axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien (HHS) est aussi engagé. Ce système, fréquemment associé aux réponses de stress, repose sur une cascade de libérations hormonales (Charmandari et al., 2005; Mason, 1968). L'hypothalamus, une région du cerveau impliquée

dans la régulation de nombreuses fonctions physiologiques, libère une hormone appelée corticolibérine (ou CRH). Cette hormone agit sur l'hypophyse (en particulier sur l'antéhypophyse), qui répond en libérant une seconde hormone, appelée ACTH (hormone adrénocorticotrope). L'ACTH circule ensuite dans le sang pour atteindre les glandes surrénales. En réponse, elles libèrent des glucocorticoïdes, dont le principal chez l'humain est le cortisol (Godoy et al., 2018; Smith & Vale, 2006). Le cortisol remplit plusieurs fonctions. Il favorise la libération de glucose pour fournir de l'énergie aux systèmes physiologiques, prépare les muscles à l'action, et joue un rôle dans la régulation du rythme circadien (Arlt & Stewart, 2005; Lightman et al., 2020). Il participe également à un mécanisme de rétroaction négative, signalant à l'hypothalamus et à l'hypophyse de réduire la production de CRH et d'ACTH, respectivement. Il régule ainsi sa propre production. Mais si l'exposition au stresseur persiste, la libération de cortisol sera maintenue (Smith & Vale, 2006). L'activité de l'axe HHS peut être appréhendée à l'aide de différents biomarqueurs, en fonction de l'échelle temporelle ciblée. Le cortisol peut par exemple être dosé dans la salive, le sang ou l'urine. Ces mesures offrent un aperçu de l'activité endocrinienne à court terme, sur des périodes allant de quelques minutes à quelques jours (Dorsey et al., 2020). Pour des périodes plus longues, une méthode suscite un intérêt croissant : le dosage du cortisol dans les cheveux (Hair Cortisol Level = HCL). Cette approche rétrospective consiste à mesurer la concentration de cortisol accumulée dans des segments de cheveux au cours du temps. Elle permet d'estimer l'activité de l'axe HHS sur des périodes allant de plusieurs semaines à plusieurs mois, en fonction de la longueur de l'échantillon (Khoury et al., 2019; Lee et al., 2015). Le HCL constitue ainsi un marqueur indirect des manifestations physiologiques du stress sur des périodes prolongées.

En résumé, les mesures physiologiques permettent d'appréhender certains aspects des états affectifs à travers leurs manifestations corporelles. En mobilisant des indicateurs issus du

système nerveux autonome et du système endocrinien, elles permettent d'estimer l'intensité et la dynamique des réponses de stress ou de l'activation émotionnelle.

c) Les mesures cognitives

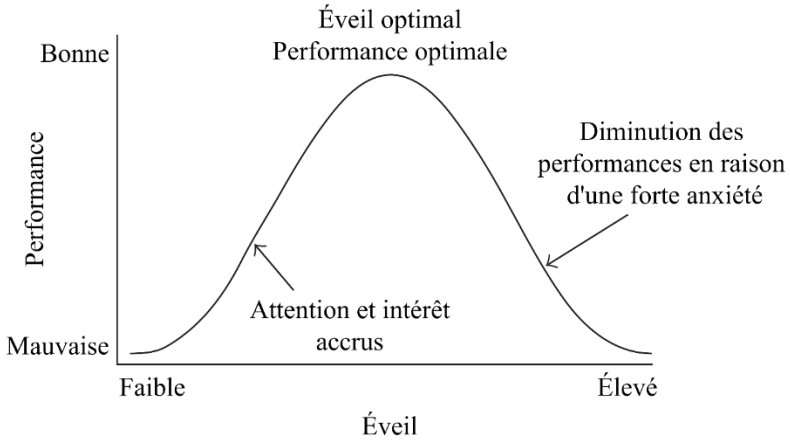
Au-delà des mesures physiologiques et subjectives, certaines mesures cognitives pourraient également être mobilisées pour évaluer les états affectifs de manière indirecte. Cette approche s'appuie sur l'idée que cognition et émotion entretiennent des relations bidirectionnelles. Les états affectifs influenceraient le traitement de l'information, tandis que les capacités cognitives moduleraient les processus affectifs (comme le proposent les théories de l'évaluation) (Damasio, 2006; Pessoa, 2008; Pessoa et al., 2019). Parmi ces interactions, l'un des effets les plus étudiés concerne l'impact du stress et de l'anxiété sur la cognition. La « théorie du contrôle attentionnel » propose que ces états psycho-affectifs entraineraient un déséquilibre entre deux systèmes attentionnels complémentaires (Eysenck et al., 2007; Eysenck & Derakshan, 2011). Le premier est un système dirigé par les buts (« goal-oriented » - top-down), qui oriente l'attention de manière volontaire et contrôlée en fonction des objectifs. Le second est un système dirigé par les stimuli (« stimulus-driven » - bottom-up), qui attire automatiquement l'attention vers des signaux saillants ou menaçants de l'environnement. En situation de stress ou d'anxiété, les ressources attentionnelles seraient davantage orientées vers le système dirigé par les stimuli (bottom-up), et moins vers le système dirigé par les buts (top-down)(Eysenck et al., 2007; Eysenck & Derakshan, 2011). L'attention deviendrait alors plus vulnérable aux distractions et moins focalisée sur les priorités de la tâche. Cette diminution du contrôle attentionnel aurait pour conséquence de fragiliser certaines fonctions exécutives, en particulier l'inhibition (i.e. la capacité à ignorer les distractions et à résister aux réponses automatiques) et la flexibilité cognitive (i.e. la capacité à réorienter efficacement son attention entre plusieurs tâches ou stratégies)(Miyake et al., 2000). Quand ces fonctions sont perturbées, les individus éprouvent plus de difficultés à réguler leur attention et leurs comportements, et à

prendre des décisions (Eysenck et al., 2007; Starcke et al., 2016; Starcke & Brand, 2016). Ils ont aussi tendance à adopter des stratégies cognitives plus automatiques, moins flexibles et moins adaptées aux situations nouvelles ou complexes (Arnsten, 2009; Plieger & Reuter, 2020; Starcke et al., 2016).

La théorie du contrôle attentionnel repose sur la distinction entre efficacité de la performance (« performance effectiveness ») et efficience du traitement (« processing efficiency »). L'efficacité de la performance correspond à la qualité de la performance, le niveau objectif de réussite dans une tâche, (e.g. le pourcentage de réponses correctes) ; tandis que l'efficience désigne le rapport entre cette performance et l'effort cognitif nécessaire pour l'atteindre. L'anxiété ou le stress réduiraient avant tout l'efficience, car les personnes mobiliseraient davantage de ressources pour maintenir un niveau de performance comparable à celui d'individus moins anxieux (Eysenck et al., 2007; Eysenck & Derakshan, 2011). Autrement dit, la qualité de la performance peut rester stable, mais au prix d'un effort accru et d'une charge cognitive plus importante.

Toutefois, il convient de préciser que les liens entre états affectifs et performances cognitives ne sont pas linéaires. Ils suivent une « courbe en cloche », connue sous le nom de « loi de Yerkes-Dodson » (voir Figure 2). Cette loi décrit la relation entre l'activation (associée au stress ou à l'éveil affectif) et la performance : un niveau modéré d'activation améliore les performances, tandis qu'une activation trop faible ou trop élevée les dégrade. Ainsi, bien que le stress ou l'anxiété puissent être néfastes à partir d'un certain seuil, une activation modérée serait bénéfique pour les compétences cognitives (Yerkes & Dodson, 1908).

Figure 2 : Loi de Yerkes-Dodson, 1908.



Représentation graphique de la loi de Yerkes-Dodson (1908) illustrant la relation entre le niveau d'éveil ou de stress (axe des abscisses) et la performance (axe des ordonnées). La courbe en forme de cloche montre que des performances optimales sont atteintes à un niveau modéré d'éveil, tandis qu'un éveil trop faible ou trop élevé entraîne une diminution des performances.

Dans ce contexte, l'évaluation de la cognition pourrait représenter un moyen complémentaire pour appréhender les dynamiques affectives. En effet, les variations des performances attentionnelles ou exécutives pourraient être interprétées comme des indicateurs indirects du niveau de stress ou d'anxiété. Sans se substituer aux mesures physiologiques et subjectives, des approches cognitives (e.g. tâches d'inhibition ou de flexibilité mentale) pourraient offrir un éclairage supplémentaire sur les répercussions fonctionnelles des états affectifs.

d) Conclusion : vers une évaluation intégrée des états affectifs

En conclusion, les mesures auto-rapportées, physiologiques et cognitives apportent chacune un éclairage spécifique sur les états affectifs. Les auto-questionnaires permettent d'accéder directement à l'expérience subjective de l'individu. Les mesures physiologiques et cognitives fournissent des indices objectifs indirects, mais sensibles, de certaines composantes affectives telles que l'activation, ou l'altération du contrôle exécutif.

Ces approches ne sont toutefois pas interchangeables (Mauss & Robinson, 2009). Les mesures « objectives » (physiologiques et cognitives) peuvent révéler des modifications qui échappent à l'introspection. Mais elles ne sont pas spécifiques aux états affectifs. Elles peuvent être influencées par de nombreux facteurs non émotionnels: état de santé, fatigue, contexte environnemental, motivation, etc. (Alfano et al., 2018). Il devient alors difficile d'isoler les processus affectifs à partir de ces seules données. De plus, la littérature n'a pas encore pu identifier des profils physiologiques ou cognitifs spécifiques aux états affectifs (Bozinovski, 2018; Siegel et al., 2018). De leur côté, les auto-évaluations, bien que simples à administrer, restent vulnérables à des biais subjectifs et méthodologiques.

Par conséquent, pris isolément, aucun de ces outils ne permet de saisir de manière exhaustive l'état affectif d'un individu. En revanche, leur utilisation conjointe pourrait améliorer la précision et la validité des évaluations. De plus en plus d'auteurs plaident en faveur d'une approche multimodale, combinant plusieurs types de mesures (Barrett & Westlin, 2016; Crosswell & Lockwood, 2020). En considérant simultanément des données subjectives, physiologiques et cognitives, il serait possible de mieux cerner les dynamiques affectives, de repérer des divergences entre ressenti et réponse corporelle, ou encore de détecter des signaux précoces de perturbation affective (Mauss & Robinson, 2009). Adopter une approche multimodale, fondée sur la complémentarité des mesures, constituerait donc une piste prometteuse pour mieux comprendre les processus affectifs, notamment dans des contextes exigeants (Alfano et al., 2018).

D. Résumé

Cette première partie a posé les bases théoriques autour des facteurs de stress, des états affectifs et de leur mesure. Les stresseurs, qu'ils soient physiques, sociaux ou psychologiques, n'entraînent pas mécaniquement une réponse. Leur impact dépend de leurs caractéristiques et de la manière dont l'individu les perçoit. Parmi les réponses variées qu'ils peuvent engendrer, l'une des principales concerne la sphère affective. Or, comprendre les états affectifs n'est pas chose aisée. Les courants théoriques se sont longtemps opposés, entre visions « classiques » (qui supposent des émotions universelles, biologiquement déterminées) et approches « constructivistes » (qui mettent l'accent sur la variabilité et la construction contextuelle des émotions). Ces divergences influencent directement la manière dont les émotions sont étudiées et mesurées, que ce soit par des outils auto-rapportés, physiologiques ou cognitifs. Nous avons vu qu'aucune mesure ne permet à elle seule de saisir pleinement l'expérience affective. Une approche multimodale, intégrant plusieurs mesures complémentaires, apparaît alors comme la plus adaptée pour appréhender ces dynamiques.

Ces fondements conceptuels et méthodologiques constituent un socle théorique pour analyser l'adaptation humaine dans des environnements extrêmes. En effet, les missions spatiales prolongées exposent les équipages à une combinaison unique de facteurs de stress, susceptibles de perturber leur équilibre affectif. La partie suivante explorera donc la manière dont les environnements spatiaux et analogues influencent les dynamiques affectives des individus qui y sont exposés.

II. L'humain en conditions spatiales : des facteurs de stress aux états affectifs

Ce chapitre vise à mieux comprendre les processus affectifs dans des conditions spatiales, en partant des contraintes spécifiques que ces environnements imposent. Nous commencerons par explorer les facteurs de stress dans les environnements spatiaux et analogues. Cette première étape permettra de mettre en évidence la nature et la diversité des contraintes auxquelles sont exposés les équipages en mission. Ensuite, nous nous intéresserons aux réponses affectives que ces stresseurs peuvent engendrer, en mobilisant les apports de la littérature scientifique sur l'adaptation en contexte spatial et analogue.

A. Les facteurs de stress en conditions spatiales

1. Les stresseurs dans l'espace

Les missions spatiales de longue durée, telles que celles envisagées vers la Lune ou Mars, représentent de véritables défis humains. L'espace constitue un environnement extrême et « multi-stressant », dans lequel les individus sont exposés à une combinaison unique de stresseurs, à la fois intenses et variés (Kanas, 2015; Le Roy et al., 2023).

Les facteurs de stress impliqués dans les environnements spatiaux peuvent être classés en cinq grandes catégories (Kanas, 2015; Le Roy et al., 2023). La première concerne les stresseurs physiques. Elle regroupe les contraintes environnementales directes (e.g. microgravité, cycles lumineux perturbés, radiations cosmiques). Ces éléments affectent le corps mais aussi le bien-être psychologique, en perturbant les repères sensoriels et les rythmes biologiques. Par exemple, la microgravité peut altérer le sommeil, qui est une composante essentielle de la santé mentale (Barger et al., 2014; Mallis & DeRoshia, 2005). La seconde

catégorie porte sur les stresseurs psychologiques. Ces derniers sont liés aux exigences mentales de la mission (e.g. charge cognitive élevée, confinement, routines répétitives) qui peuvent générer des tensions psychiques (Faerman et al., 2023). La troisième regroupe les stresseurs sociaux. Vivre et travailler dans un groupe restreint, souvent avec des différences socio-démographiques, sur de longues périodes constitue un défi pour les dynamiques interpersonnelles (Landon et al., 2018). La distance avec les proches sur Terre peut également induire un sentiment d'isolement social. La quatrième catégorie concerne les stresseurs temporels (« seasonal stressors »). Le passage du temps en mission, souvent marqué par l'absence de repères temporels naturels (e.g. saisons, alternance jour/nuit naturelle), la monotonie des jours, ou l'anticipation du retour, peut entraîner une désorientation temporelle ou une altération de la santé psychologique. Ces effets sont parfois décrits dans la littérature comme des « phases psychologiques » traversées par les équipages au fil du temps (e.g. "third-quarter phenomenon" ; Bechtel & Berning, 1991). Enfin, la cinquième catégorie regroupe les stresseurs de post-mission. Le retour sur Terre/à la vie « normale » ne marque pas nécessairement la fin des difficultés. La réadaptation physique (e.g. gravité, mouvements, fatigue) s'accompagne d'un processus de réajustement psychologique (e.g. retour à la vie civile, médiatisation, décalage avec les proches, changements individuels) (Kanas, 2015; Le Roy et al., 2023).

Par ailleurs, ces facteurs de stress n'agissent pas isolément. Ils interagissent et peuvent s'amplifier mutuellement (« effet cocktail » ; Kanas, 2015; Le Roy et al., 2023). Avec des missions de longue durée, ces stresseurs sont toujours diversifiés, mais également présents de manière prolongée, augmentant ainsi leur impact potentiel sur la santé mentale et physique des individus (Slack et al., 2015).

Tableau 1 : Taxonomie des différents facteurs de stress présents dans les environnements spatiaux.

Catégories	Facteurs de stress	Catégories	Facteurs de stress
Stresseurs physiques	Microgravité	Stresseurs psychologiques	**Confinement**
	Radiations		**Isolement**
	Accélérations fortes		**Délais de communication**
	Bruit		Danger perpétuel
	Composition/qualité de l'air		**Espace limité**
	Vibrations		**Séparation d'avec les proches**
	Altitude		**Manque d'intimité**
	Photo-périodicité (cycles jour/nuit)		**Troubles somatiques**
	Températures hautes et faibles		**Diminution des stimulations sensorielles**
Stresseurs sociaux	**Conflits**		Impossibilité de se retirer de la situation
	Contacts sociaux limités		**Charge de travail**
	Leadership/direction		**Monotonie**
	Taille de l'équipage		**Autonomie**
	Différences de genre/sexe		**Temps libre**
	Différences culturelles		**Personnalité**
	Différences de langue	Stresseurs de Post-mission	**Réadaptation physique (ex : gravité…)**
	Hétérogénéité du groupe		**Réadaptation sociale et familiale**
Stresseurs temporels	**Durée de la mission**		**Changements individuels (avant/après la mission)**
	Modifications saisonnières de l'environnement		
	Effets temporels		

Adapté des travaux de Kanas, 2015 et Le Roy et al., 2023. Ce tableau présente les principaux facteurs de stress en environnement spatial, classés en cinq catégories : physiques, sociaux, temporels, psychologiques et post-mission. Ces catégories permettent de mieux comprendre les multiples contraintes qui peuvent influencer la santé physique, psychologique et sociale des spationautes, tant durant la mission que lors de leur réadaptation après le retour sur Terre. Les facteurs de stress en gras indiquent ceux également présents dans les simulations spatiales (ou confinements).

2. L’intérêt des environnements analogues

Étudier les facteurs de stress et leurs impacts sur les individus lors de véritables missions spatiales est complexe. L’environnement est difficile à contrôler, et de nombreuses variables confondantes perturbent l’interprétation des résultats. Les contraintes logistiques, les coûts élevés des missions et le faible nombre de missions longues (comme les séjours dans la Station Spatiale Internationale - ISS) limitent également les opportunités de recherche sur l’adaptation aux environnements spatiaux. Par conséquent, les études menées directement dans l’espace restent rares et insuffisantes pour fournir une compréhension approfondie des facteurs de stress et de leurs effets (Alfano et al., 2018).

Pour pallier ces limites, les chercheurs ont recours à des « environnements analogues ». Ces dispositifs terrestres, qui reproduisent artificiellement ou naturellement certains stresseurs spatiaux, permettent d’étudier leurs effets sur l’humain (voir Figure 3 ; Bishop, 2013; De la Torre et al., 2024). Par exemple, les vols paraboliques créent un état de micropesanteur en plaçant temporairement des avions en chute libre. Les centrifugeuses simulent les effets des accélérations. Les « bed rests studies » (études de l’alitement sur des lits penchés à 6 degrés) ou les immersions sèches (le sujet est immergé dans une grande baignoire remplie d’eau, de laquelle il est isolé par une toile imperméable) imitent les effets de l’impesanteur sur le corps.

Ces environnements analogues que nous venons de citer sont principalement utilisés pour étudier les effets physiologiques ou techniques des missions spatiales (Pandiarajan & Hargens, 2020). Cependant, ils ne permettent pas de reproduire avec précision les contraintes mentales et sociales auxquelles les spationautes sont confrontés, et encore moins sur des durées équivalentes à celles des futures missions lunaires ou martiennes (Le Roy et al., 2023). Les espaces confinés, l'éloignement de la Terre, l'absence de repères familiers, ou la mise à l'épreuve de la résilience individuelle et collective, sont autant de paramètres qui peuvent influencer la

psyché humaine (Le Roy et al., 2023). Ces facteurs doivent également être anticipés et étudiés pour mieux comprendre leurs effets sur l'adaptation des spationautes. Pour répondre à ces enjeux psychologiques, les chercheurs exploitent d'autres environnements analogues désignés sous l'acronyme ICE (« Isolated and Confined Environments », soit « Environnements isolés et confinés »). Il peut s'agir de stations polaires (e.g. station Franco-Italienne « Concordia »), d'habitats sous-marins (e.g. dispositifs SEALAB de l'US Navy, ou NEEMO de la NASA), de zones désertiques (e.g. « Mars Desert Research Station » - MDRS), de cavernes/grottes (e.g. expérience DEEPTIME), ou encore d'habitats simulés. Ces environnements reproduisent, dans une certaine mesure, certaines contraintes psycho-physiologiques rencontrées dans l'espace, telles que l'isolement, le confinement et les conditions de vie lors de missions prolongées. Ils offrent aussi une plus grande flexibilité pour la mise en œuvre d'études contrôlées et la manipulation de variables spécifiques (De la Torre et al., 2024; Le Roy et al., 2023).

Parmi les différents ICE, les simulations de missions spatiales, telles que celles menées à l'Institut des problèmes biomédicaux (IBMP) de Moscou ou dans le cadre du programme HI-SEAS (« Hawaii Space Exploration Analog and Simulation »), comptent parmi les plus représentatives des conditions de missions spatiales longues (Le Roy et al., 2023). Ces simulations consistent à confiner un équipage dans un habitat analogue au spatial pendant une durée définie afin de recréer le plus fidèlement possible les défis psychosociaux et opérationnels des missions dans l'espace (e.g. durée de l'isolement, conditions opérationnelles, contraintes sociales)[10]. L'un des principaux atouts de ces simulations est leur capacité à reproduire et à maintenir des facteurs de stress sur de longues périodes. Par exemple, la simulation Mars 500 a exposé les participants à un confinement analogue au spatial de 520 jours (Ushakov et al., 2014). Ces environnements permettent d'étudier comment les individus s'adaptent initialement aux conditions confinées, mais aussi comment ils maintiennent cette adaptation au fil du temps.

[10] Les facteurs de stress présents dans ces simulations sont indiqués en gras dans le Tableau 1.

Ainsi, les simulations de missions spatiales offrent l'opportunité d'anticiper certains défis psycho-sociaux que les spationautes pourraient rencontrer lors de missions spatiales prolongées.

Figure 3 : Visualisation de quelques environnements analogues aux conditions spatiales.



Vol parabolique[1]



Centrifugeuse[2]



Bed-rest[3]



Immersion sèche[4]



Station polaire[5]



Station en désert[2]



Habitat simulé[6]

Ces images représentent une liste non-exhaustive d'environnements « analogues » aux conditions spatiales, reproduisant des facteurs de stress similaires à ceux présents dans l'espace. Dans cette thèse nous avons travaillé sur le modèle des habitats simulés (entouré en gras sur l'image). Références des images : 1 = Novespace, 2= Wikipédia, 3 = National Geographic, 4 = MEDES, 5 = Sciences et Avenir, 6 = NASA

Nous avons jusqu'ici exploré les facteurs de stress propres aux environnements spatiaux et analogues. En raison de leur diversité et de leur intensité, ces stresseurs peuvent impacter les individus de multiples façons. Ils sont susceptibles d'engendrer une variété de réponses, qui peuvent se manifester au niveau biologique, cognitif, affectif, ou comportemental (Crosswell & Lockwood, 2020). Or, dans des conditions similaires au spatial, les plaintes les plus fréquentes en matière d'adaptation psychologique concernent la sphère affective (Palinkas et al., 2004). Dans la section suivante, nous explorerons donc les dynamiques affectives en environnements spatiaux et analogues.

B. Les états affectifs en conditions spatiales et analogues

En tant que domaine de recherche, la psychologie en milieu spatial vise à explorer les répercussions de ces conditions extrêmes sur l'esprit humain, notamment lorsqu'elles sont prolongées dans le temps (Kanas, 2015; Pagnini et al., 2023). Nous tenterons ici de présenter une synthèse des études sur les dynamiques affectives en environnements spatiaux et analogues.

1. L'adaptation affective dans l'espace

Les vols spatiaux offrent les conditions idéales pour examiner l'adaptation psychologique aux conditions spatiales. Cependant les données qui en sont issues sont peu nombreuses (Slack et al., 2015). La plupart du corpus de données provient de missions réalisées dans l'ISS, la station Mir, ou encore la navette spatiale américaine (i.e. Space Shuttle ou Space Transportation System - STS). Les principales sources d'information sont issues de journaux personnels de spationautes, de dossiers médicaux et de témoignages divers (e.g. livres, interviews, presse, debriefings ; Kanas, 2015; Slack et al., 2015). Ces sources ont révélé une gamme variée de réactions affectives pendant les missions spatiales. Tandis que beaucoup de participants ont exprimé des émotions positives, telles que la joie, un sentiment d'accomplissement, l'enthousiasme ou l'émerveillement d'être dans l'espace ("Overview effect"; Stuster & Barbara, 2016; Yaden et al., 2016), d'autres témoignages ont parfois signalé des épisodes d'ennui, d'anxiété ou de dépression (Slack et al., 2015; Stuster & Barbara, 2016). Globalement, aucune tendance générale ne semble ressortir de ces témoignages quant aux effets des conditions spatiales sur les états affectifs. Cependant, il convient de souligner le caractère anecdotique et souvent contextuel de ces sources, ce qui requiert une interprétation prudente. En effet, ces observations individuelles ne sauraient être extrapolées à l'ensemble des spationautes.

D'autres données proviennent de recherches empiriques réalisées au cours de missions

spatiales. Ces études, principalement basées sur des méthodes auto-rapportées, fournissent également des résultats nuancés. Pour la plupart, elles indiquent peu de modifications des états affectifs parmi les équipages des navettes spatiales, de la station Mir ou de l'ISS (Kanas, Salnitskiy, Grund, et al., 2001; Kanas et al., 2006, 2007). Certaines recherches ont parfois souligné des effets positifs de ces missions sur les spationautes, notamment une amélioration de la santé mentale et du bien-être par rapport aux mesures pré-mission (Ihle et al., 2006; Ritsher et al., 2007). En revanche, d'autres études ont pu occasionnellement rapporter des troubles affectifs, notamment des symptômes d'asthénie[11], tels que irritabilité ou instabilité émotionnelle (Kanas, 2015; Sandoval et al., 2012; Slack et al., 2015). Mais la prévalence et le statut clinique de ces symptômes en contexte spatial sont sujets à débat dans la littérature (Kanas, Salnitskiy, Gushin, et al., 2001; Sandoval et al., 2012).

Ces résultats illustrent la grande diversité des expériences affectives rapportées en vol spatial et soulignent la difficulté d'en dégager des tendances robustes. En l'état, les données disponibles ne permettent pas encore de décrire avec précision les mécanismes d'adaptation affective en environnement spatial réel.

En résumé, les individus participant à des missions spatiales peuvent éprouver des fluctuations dans leurs états émotionnels et d'humeur, tout comme leurs homologues sur Terre. Néanmoins, à la lumière des données actuelles, il est difficile de savoir si l'incidence des troubles affectifs dans l'espace est différente de celle observée au sein de la population terrestre (Slack et al., 2015). Les résultats des travaux menés dans des environnements spatiaux manquent de consensus et sont difficiles à répliquer en raison des coûts financiers et logistiques de telles recherches (Alfano et al., 2018).

[11] L'asthénie est définie comme « une faiblesse nerveuse ou mentale qui se manifeste par de la fatigue... et une perte rapide de force, un seuil sensoriel bas, des humeurs extrêmement instables et des troubles du sommeil » (Kanas, 2015). Ce concept a surtout été utilisé par les chercheurs Russes pour qualifier certaines modifications psycho-comportementales des cosmonautes. Les Américains, eux ont fait peu de références à cette terminologie (Kanas, 2015; Slack et al., 2015).

2. L’adaptation affective en conditions analogues à l’espace

Pour pallier la rareté des données spatiales, des études ont été menées dans des environnements terrestres reproduisant les contraintes de l’espace. Dans les ICE analogues à l'espace, tels que les missions en Antarctique ou à bord de sous-marins, les urgences psychiatriques et comportementales peuvent survenir, bien qu'elles soient rares. Par exemple, un cas exceptionnel a impliqué un individu schizophrène en Antarctique lors de l'Année géophysique internationale de 1957-1958 (Stuster, 1996, cité par Slack et al., 2015). Un autre cas a nécessité une évacuation de l'Antarctique en raison d'une probable dépression (Buckey, 2006, cité par Slack et al., 2015). Ces quelques cas, bien que rarement rapportés, rappellent que les environnements isolés et extrêmes peuvent engendrer ou accentuer des vulnérabilités mentales. Ce constat a conduit plusieurs travaux à étudier la prévalence des troubles d’adaptation psychologique dans les ICE. Une étude de Palinkas et coll. rapporte que 5,2 % d'une cohorte d’individus ayant passé un hiver austral dans l'Antarctique entre 1994 et 1997 ont présenté les critères d'un ou plusieurs troubles du DSM-IV (« Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux » - quatrième édition) (Palinkas et al., 2004)[12]. Parmi eux, les modifications des états affectifs tenaient une place prépondérante. En effet, dans cette étude, les troubles de l’humeur représentaient la catégorie de diagnostics la plus fréquente, avec 30,2% des cas. Ces troubles affectifs peuvent avoir des natures différentes, telles que des changements d'humeur, du stress perçu, de la dépression ou de l'anxiété (Choukèr et al., 2001; Ishizaki et al., 2002; Mallis & DeRoshia, 2005; Nicolas & Weiss, 2009; Palinkas et al., 2004; Palinkas & Houseal, 2000). Cette prévalence des troubles affectifs souligne l’importance des dynamiques émotionnelles dans l’adaptation psychologique en ICE. Cependant, ce genre de statistique doit être interprété prudemment. Les études dans ce type de contexte peuvent être très différentes

[12] À titre de comparaison, pendant la même période, dans la population générale américaine, l’enquête nationale NCS-R a estimé que 26,2 % des adultes présentaient au moins un trouble psychiatrique au cours des 12 derniers mois (Kessler et al., 2005).

les unes des autres et présenter des résultats divergents car ces environnements sont très diversifiés (e.g. stations polaires, grottes, sous-marins, habitats simulés; Alfano et al., 2018; De la Torre et al., 2024). Dans le cadre de ce travail, nous nous concentrerons principalement sur les recherches effectuées lors de missions de simulation spatiale de longue durée.

La simulation spatiale est un dispositif utilisé pour étudier les effets psychologiques des vols spatiaux de longue durée sans quitter la Terre. Parmi les projets les plus prolifiques figure Mars 500. Ce programme consistait à simuler un voyage aller-retour vers Mars à travers deux missions de 105 et 520 jours dans le dispositif « NEK » à Moscou. Mais d'autres installations sont aussi régulièrement mobilisées pour réaliser des simulations prolongées (e.g. Lunar Palace, HI-SEAS, HERA – « Human Exploration Research Analog », CHAPEA – « Crew Health and Performance Exploration Analog », MDRS – « Mars Desert Research Station »). Ces environnements analogues permettent de mener de nombreuses recherches sur l'adaptation psychologique en milieu confiné.

Dans l'ensemble, les études issues de missions de simulation rapportent peu de dégradations affectives majeures (Palinkas & Suedfeld, 2021). Pour autant, les manifestations affectives observées au cours de ces missions restent variées ; la littérature rapportant des résultats contrastés tant pour les affects négatifs que positifs. Les états affectifs négatifs (e.g. tristesse, anxiété, colère) sont généralement décrits comme modérés et relativement stables pendant les simulations (Basner et al., 2014; Gemignani et al., 2014; Hao et al., 2019; Le Scanff et al., 1997; Nicolas et al., 2013; Poláčková Šolcová et al., 2014; Yi et al., 2015). Certaines études ont même mis en évidence une atténuation de ces affects, avec une diminution des symptômes dépressifs, de la colère, de l'agressivité ou du stress perçu à mesure que la mission progressait (Kanas et al., 2011; Nicolas & Gushin, 2015). En revanche, d'autres travaux ont pu constater des signes ponctuels de détérioration affective. Par exemple, certains ont rapporté une augmentation des manifestations de stress (Dunn Rosenberg et al., 2022; Jacubowski et al., 2015), des épisodes

émotionnels négatifs (Kanas et al., 1996, 2011), ou une humeur dépressive chez certains participants (Basner et al., 2014). Ces divergences dans la littérature révèlent que la dynamique des affects négatifs varie d'une mission à l'autre. Les affects positifs (e.g. joie, enthousiasme, apaisement), bien que moins étudiés, apparaissent globalement préservés dans la plupart des simulations. Ils sont décrits comme plus fréquents que les affects négatifs tout au long des missions (Alfano et al., 2018). Les données issues de Mars 500 montrent par exemple une valence émotionnelle majoritairement positive durant les 520 jours de confinement, malgré des fluctuations inter- et intra-individuelles (Basner et al., 2014; Poláčková Šolcová et al., 2014; Yi et al., 2015). Des tendances similaires ont été relevées dans d'autres simulations (e.g. Lunar Palace ou HERA), où les participants ont maintenu un état affectif globalement positif (Hao et al., 2019; Nasrini et al., 2020). Certaines études ont même constaté que les affects positifs pouvaient s'intensifier au fil du temps (Shved et al., 2014; Wu & Wang, 2015). Néanmoins, ces observations ne sont pas systématiques. Par exemple, une diminution progressive des affects positifs a été observée durant la mission Mars-105 (Nicolas et al., 2013). Ce constat, à l'instar des affects négatifs, souligne l'hétérogénéité des résultats dans la littérature.

Prises dans leur ensemble, les recherches issues des simulations de missions spatiales présentent des résultats hétérogènes, et parfois contradictoires. Les différences entre missions, en termes de durée, de composition d'équipage, de niveau d'autonomie ou encore de contraintes opérationnelles, peuvent contribuer à cette diversité de résultats (De la Torre et al., 2024; Le Roy et al., 2023). Il est donc difficile d'agréger ces travaux en une synthèse cohérente. Pourtant, malgré ces défis, certains chercheurs ont tenté de développer des modèles théoriques visant à décrire des dynamiques psychologiques générales, communes aux individus confrontés à ces conditions. C'est ce que nous présenterons dans la section suivante.

3. Les dynamiques temporelles de l'adaptation psychologique

Plusieurs travaux ont tenté de modéliser l'évolution des états psychologiques au cours des missions spatiales ou analogues. Sur la base de données empiriques, des chercheurs ont proposé des schémas temporels pour rendre compte des variations affectives, cognitives, et comportementales en milieu confiné. Ces modèles cherchent à identifier des processus récurrents d'adaptation ou de vulnérabilité, en lien avec la progression temporelle de la mission. Par exemple, les détériorations affectives semblent apparaître plus fréquemment lors de certaines périodes, comme le début de la mission ou les phases de transition (Dunn Rosenberg et al., 2022; Gushin et al., 1993). Les principaux modèles temporels proposés dans la littérature sont décrits dans le Tableau 2.

Ces modèles offrent des grilles de lecture pour appréhender les mécanismes d'ajustement psychologique en environnements extrêmes, mais leur validité reste discutée au sein de la communauté scientifique. Certaines de leurs prédictions, comme le "troisième quart", ont été constatées dans plusieurs études en milieux analogues (Sandal, 2000; Steel, 2001). Mais ces observations restent trop rares pour valider ces modèles de manière robuste (Kanas et al., 2021). Ce manque de données empiriques a conduit plusieurs méta-analyses à souligner les limites de ces modèles et la difficulté de généraliser leurs prédictions à l'ensemble des missions spatiales et analogues (Kanas et al., 2021; Palinkas & Suedfeld, 2021). Dans l'attente de validations plus solides issues de recherches empiriques, ces modèles temporels doivent être appréhendés avec prudence. Ils pourraient être utilisés davantage comme des références théoriques permettant de guider la recherche, que comme des cadres prédictifs solides.

Tableau 2 : Description des principaux modèles temporels décrivant l'évolution de l'adaptation psychologique lors de séjours en ICE.

Nom du modèle temporel	Description du modèle temporel
Le "Phénomène du troisième quart" (Bechtel & Berning, 1991)	Les contraintes psychologiques seraient les plus importantes au cours du troisième quart de la mission. Alors que les participants ont déjà effectué la moitié de la mission, l'excitation du début se serait estompée et ils se rendraient compte qu'il reste encore une longue période avant la fin. Leur motivation et leur résilience seraient alors perturbées. Ces troubles affectifs se réduiraient à mesure que la fin de la mission approche.
Le « relief from pressure » (« soulagement de la pression ») (Dunn Rosenberg et al., 2022)	Les individus en conditions spatiales subiraient un stress élevé et soutenu au début de la mission. A mesure que le temps passe, il y aurait un relâchement des normes sociales qui permettrait aux sujets de mieux gérer la situation et de mieux s'adapter.
Le modèle de Rohrer (Rohrer, 1961)	Il se décompose en trois étapes : Phase 1 : période d'anxiété associée au début de la mission, (2) Phase 2 : débute après l'installation d'une routine qui induit une monotonie accrue et une augmentation des symptômes dépressifs, et (3) Phase 3 : période d'instabilité marquée par des comportements euphoriques, immatures ou hostiles tandis que les individus commencent à anticiper la fin de la mission.
Le modèle de Gushin (Gushin et al., 1993)	Il présente une dynamique temporelle en cinq étapes : (1) Jours 1 à 3 : période d'hyperexcitation accompagnée d'une adaptation aigue à l'environnement inhabituel, (2) Jours 4 à 9 : période d'adaptation instable/précaire associée à des variations des paramètres psychophysiologiques, (3) Jours précédant les trois derniers : adaptation stable, signes psycho-physiologiques stables, mais augmentation de la fatigue, diminution des centres d'intérêt, diminution de l'activité et augmentation de l'irritabilité, (4) Trois derniers jours : il s'agit de l'« effort final » qui est marqué par de l'euphorie et un manque de contrôle de soi, et (5) Trois jours après la fin de l'expérimentation : retour à la normale progressif.
Le modèle de Dunn-Rosenberg et coll. (Dunn Rosenberg et al., 2022)	Celui-ci s'inspire de données issues de confinements effectuées dans le programme HI-SEAS, mais incorpore d'autres modèles (modèle du troisième quart, de Rohrer, et du « relief from pressure »). Ce nouveau modèle combiné se décompose en quatre étapes : (1) L'« eustress » de l'adaptation initiale (premier quart de la mission) : période d'adaptation marquée par des indicateurs de stress élevés mais qui diminuent progressivement (mécanismes hormonaux et stress perçu). Toutefois il n'y a pas de troubles affectifs. Le stress est ici « positif ». (2) Déprivation liée aux conditions de confinement et d'isolation (deuxième quart) : les conditions de la mission exercent une pression sur les individus (Ré-augmentation des mécanismes hormonaux liés au stress et diminution de la dopamine, sérotonine et testostérone). (3) Perturbation de la dynamique individuelle et collective (troisième quart) : le stress de la mission a des effets délétères. Période marquée par des perturbations hormonales (stress oxydatif), hypniques, affectives et sociales. Et (4) Coping asynchrone (quatrième quart) : les participants commencent à envisager la fin de la mission, ont des comportements plus centrés sur eux-mêmes et adoptent des dynamiques comportementales et sociales asynchrones. Les états affectifs et le stress perçu sont volatiles mais moins perturbés que lors de la phase précédente.

Un élément qui pourrait expliquer cette absence de consensus dans les dynamiques psychologiques est la grande variabilité interindividuelle observée chez les participants à ces missions. C'est précisément cette diversité des réponses affectives qui sera explorée dans la section suivante.

4. L'hétérogénéité des profils d'adaptation

Notre revue de la littérature met en évidence une hétérogénéité des travaux concernant l'impact des conditions spatiales ou analogues sur les états affectifs. Les résultats varient selon les études et les missions, rendant difficile l'identification de mécanismes d'adaptation psychologique universels. Une explication récurrente à cette absence de consensus réside dans la variabilité interindividuelle, fréquemment soulignée dans la littérature (pour une revue de la littérature : Le Roy et al., 2023). Cela suggère qu'en conditions spatiales ou analogues, les individus ne réagissent pas de manière homogène aux contraintes environnementales, ce qui complique l'identification de mécanismes d'adaptation standards. Lors de la mission Mars-500, plusieurs études ont ainsi montré que les trajectoires affectives des participants évoluaient de manière asynchrone, sans tendance commune à l'ensemble du groupe (Basner et al., 2014; Poláčková Šolcová et al., 2014). Par exemple, un participant a présenté une nette augmentation des symptômes dépressifs au cours du temps, tandis que les autres affichaient des niveaux faibles et stables (Basner et al., 2014). Cette variabilité entre les personnes s'explique en grande partie par la diversité des caractéristiques individuelles et sociales qui peuvent moduler les états affectifs des participants. Pour mieux comprendre leur impact, Palinkas et coll. (2010) ont ainsi proposé une typologie des facteurs psycho-sociaux susceptibles d'influencer l'adaptation psychologique des individus en missions spatiales ou analogues. Parmi ces paramètres, ils évoquent : (1) les caractéristiques socio-démographiques (culture ; statut marital ; âge ; genre ; études; statut socio-économique ; profil judiciaire…), (2) les caractéristiques psychologiques individuelles (traits de personnalité ; motivation ; sens accordé à la mission (Nicolas et al.,

2021) ; capacités cognitives ; tempérament et attitude ; capacités interpersonnelles …), (3) le statut clinique (évaluations réalisées par un psychiatre ou psychologue concernant la santé mentale), (4) les stratégies de coping individuelles (stratégies de gestion du stress, principalement évaluées à l'aide de mesures auto-rapportées), (5) d'autres caractéristiques individuelles (expérience en ICE ; loisirs ; religiosité ; stress perçu lié au travail…), (6) les caractéristiques du groupe/de l'équipage (taille du groupe ; homogénéité/hétérogénéité du groupe sur la base des caractéristiques socio-démographiques et psychologiques ; la cohésion du groupe…), et (7) les indicateurs de leadership (style de leadership, compétences…) (Tableau 3). Toutefois, ces facteurs psychosociaux ne suffisent pas à expliquer la complexité de l'adaptation affective aux conditions spatiales et analogues. A ces variables s'ajoutent des facteurs contextuels, eux aussi susceptibles de moduler l'adaptation. Parmi eux, on retrouve la charge de travail, le contexte général de la mission, la survenue d'évènements inattendus et impactants, l'activité physique (Martin-Krumm et al., 2021), l'alimentation, la qualité de sommeil (Nasrini et al., 2020), ou encore les modifications neurologiques associées aux conditions spatiales (Clément et al., 2020). La durée d'une mission semble aussi influencer l'adaptation psychologique. Les missions de longue durée (plusieurs mois) tendent à produire des effets négatifs plus fréquemment que les missions de courte durée (quelques jours; Le Roy et al., 2023; Slack et al., 2015). Cependant, même lors de missions plus longues, la réaction des participants reste très variable d'un individu à l'autre (Le Roy et al., 2023).

Tableau 3 : Classification des facteurs psycho-sociaux modulant la stabilité émotionnelle des individus en mission spatiale.

Niveau de priorités	Stabilité émotionnelle*
1 : Les 3 plus importants	Âge, maturité, expérience et compétences Besoins et compétences interpersonnels Traits de personnalité globaux
2 : Autres importants	Statut civil Caractéristiques cliniques Humeur Motivation élevée Cohésion de groupe Efficacité personnelle élevée Origine culturelle
3 : Moins importants	Homogénéité/hétérogénéité du groupe Genre masculin Service militaire Résidence en milieu rural Alerte élevée Grand besoin d'ordre Hautement consciencieux Grande satisfaction à l'égard du soutien social Faible recours à l'acceptation comme stratégie de coping Nombre d'expéditions antérieures Appréciation et sentiment d'émerveillement face à l'environnement Intérêt élevé/faible pour des hobbies et des activités de loisir Faible religiosité Taille de l'équipage grande/petite Style de leadership participatif / de soutien

Issu et traduit de Palinkas et al., 2010. * = dimension affective. Ce tableau présente les différentes caractéristiques psychosociales qui influencent l'adaptation psychologique des spationautes en mission. Ces caractéristiques sont ordonnées selon leur degré d'influence sur la stabilité émotionnelle des individus.

La variabilité interindividuelle que ces multiples facteurs engendrent pose plusieurs contraintes méthodologiques. Les échantillons statistiques dans les contextes spatiaux ou analogues sont généralement de taille réduite, ce qui limite la puissance statistique et complique l'identification de tendances robustes (Kanas, 2015; Le Roy et al., 2023). Dans un groupe de six à dix participants, il suffit qu'un seul présente une trajectoire affective atypique pour masquer ou neutraliser un effet global. Cette hétérogénéité rend également la reproductibilité difficile : une mission peut mettre en évidence une évolution marquée de l'humeur ou du stress, tandis qu'une autre, conduite dans des conditions très proches, ne retrouve pas ce résultat (De

la Torre et al., 2024). En conséquence, il est difficile de distinguer ce qui relève de véritables mécanismes psychologiques généraux de ce qui correspond à des réactions singulières liées aux caractéristiques individuelles. Les modèles visant à décrire ou prédire l'adaptation affective se heurtent donc à des données empiriques instables : leurs prédictions sont parfois confirmées, parfois infirmées, en fonction des spécificités des équipages étudiés. Cette complexité pourrait expliquer en partie pourquoi l'identification de mécanismes standards d'adaptation psychologique reste à ce jour débattue (Le Roy et al., 2023).

En conclusion, la variabilité des états affectifs observée chez les spationautes et individus analogues résulte d'interactions complexes entre les facteurs intrinsèques à chaque individu, la nature des stresseurs, et les contraintes spécifiques à chaque mission. Chaque personne possède sa propre constitution, son histoire et sa résilience face à l'adversité. Cette diversité, couplée aux particularités de chaque mission, engendre une grande variabilité inter-individuelle dans les études sur les états affectifs. Pour le succès des futures missions spatiales habitées, une compréhension fine de cette variabilité pourrait être bénéfique. Dans cette perspective, des travaux récents suggèrent des pistes méthodologiques pour approfondir la compréhension des dynamiques affectives dans ces conditions extrêmes. L'une d'elles consiste à recourir à des démarches d'évaluation multimodales, intégrant simultanément différentes sources d'information hétérogènes (Alfano et al., 2018; Gatti et al., 2022). Cette approche croisée offrirait la possibilité de mieux saisir les dynamiques affectives en mission, en tenant compte à la fois de l'expérience subjective des individus et de leurs manifestations objectives.

C. Résumé

Dans cette seconde partie, nous avons exploré les conditions de type « spatiales » afin de comprendre comment elles influencent les états affectifs. Ces environnements « multi-stressants » exposent les équipages à une combinaison de contraintes durables, susceptibles de fragiliser leurs états affectifs. Pour mieux comprendre ces effets, de nombreuses recherches ont été menées en conditions spatiales réelles et dans des environnements analogues (ICE). Toutefois, la littérature révèle des résultats hétérogènes et parfois contradictoires. Certains travaux rapportent une stabilité affective, tandis que d'autres mettent en évidence des fluctuations voir des dégradations. Ces divergences reflètent à la fois la grande variabilité interindividuelle des réponses, mais aussi des différences de contexte et de méthodologie entre études.

Ainsi, malgré des avancées notables, nos connaissances sont encore insuffisantes pour comprendre pleinement l'adaptation affective en conditions spatiales. Cette absence de convergence souligne la nécessité de poursuivre les recherches et de développer des approches d'évaluation plus précises. Une meilleure compréhension des dynamiques affectives en environnements extrêmes constitue un enjeu pour la préparation et la réussite des futures missions spatiales de longue durée.

Chapitre II :

Problématiques, Objectifs et Hypothèses

Au XXIe siècle, deux projets phares animent les agences spatiales : la création d'une base permanente sur la Lune et l'entreprise d'un voyage habité vers Mars. Selon les prévisions actuelles, instaurer une base sur la Lune nécessiterait des séjours prolongés de plusieurs mois, voire années, pour les spationautes. De même, un voyage aller-retour vers Mars pourrait s'étaler sur une période allant de 640 jours (dont 30 sur Mars) à 910 jours (dont 550 sur Mars), en fonction des fenêtres de lancement et des technologies propulsives utilisées (Drake et al., 2010). Or, les environnements spatiaux introduisent une multitude de facteurs de stress susceptibles de perturber le fonctionnement bio-psycho-social des spationautes (e.g. isolement prolongé, dangerosité intrinsèque de la mission, délais de communication avec la Terre, différences inter-individuelles, troubles bio-médicaux… Kanas, 2015). Ainsi, l'adaptation psychologique des individus en conditions spatiales prolongées est une préoccupation majeure pour les prochaines missions.

Notre revue de la littérature montre qu'il reste encore beaucoup d'incertitudes sur la manière dont l'humain réagirait psychologiquement à de si longues durées dans l'espace (Pagnini et al., 2023). Nous savons que les spationautes peuvent réagir positivement mais aussi négativement à ces environnements, avec une grande variabilité selon les personnes (Le Roy et al., 2023). Dans le cas d'une adaptation inadéquate, ils pourraient développer des troubles affectifs multiples comme de l'anxiété ou de la dépression (Kanas, 2015). Toutefois, il n'existe actuellement pas de consensus sur la prévalence de ce type de troubles en conditions spatiales ou analogues. Et nous avons encore de grandes incertitudes concernant les moyens de suivre les états affectifs des spationautes en mission (Palinkas & Suedfeld, 2021). Nous pouvons ainsi nous demander comment mieux évaluer et comprendre l'adaptation affective d'individus en conditions spatiales prolongées. Notre travail cherchera à progresser sur cette question à travers des expérimentations en environnement analogue, ainsi que des réflexions théoriques et méthodologiques.

Notre cadre théorique en sciences affectives a mis en évidence plusieurs recommandations méthodologiques pour la mesure des affects. Celles-ci s'articulent autour de deux principes (Barrett & Westlin, 2016; Crosswell & Lockwood, 2020). Premièrement, les mesures subjectives ou auto-rapportées demeurent essentielles pour évaluer les états affectifs. En effet, par définition, ces derniers renvoient à une expérience ressentie, propre à l'individu. Ignorer la dimension subjective reviendrait à ne mesurer qu'une partie du phénomène. Les questionnaires ou échelles d'auto-évaluation offrent ainsi un accès privilégié à l'expérience émotionnelle, que les mesures dites « objectives » (e.g. physiologiques, comportementales) ne peuvent saisir que partiellement. En d'autres termes, l'auto-évaluation constitue la source la plus directe d'information pour appréhender l'expérience affective. Deuxièmement, il est recommandé d'adopter des méthodes d'évaluation multimodales. En raison de leur nature complexe et multifactorielle, les états affectifs peuvent se manifester de diverses manières, que ce soit dans le domaine perceptif, comportemental, cognitif, ou physiologique. Ainsi, une seule modalité de mesure peut s'avérer insuffisante pour saisir l'entièreté de l'expérience psychologique. En combinant des mesures hétérogènes, les chercheurs peuvent obtenir une image plus complète et nuancée de leur objet d'étude. Cette approche multimodale incite à utiliser des mesures subjectives de différentes natures (e.g. affects négatifs, positifs) et d'autres données dites "objectives" (e.g. marqueurs physiologiques ou cognitifs) qui pourraient apporter des informations complémentaires (Zhang et al., 2017).

Ces recommandations offrent un cadre méthodologique dont notre champ de recherche pourrait s'inspirer. Elles pourraient améliorer le suivi des états affectifs en mission et aider à mieux comprendre les impacts psychologiques de ces conditions extrêmes. En intégrant différentes mesures des états affectifs, elle contribuerait aussi à mieux caractériser et expliquer la variabilité interindividuelle en mission (Alfano et al., 2018).

En résumé, il n'existe pas de consensus sur l'évolution des états affectifs lors de missions spatiales ou analogues. Plusieurs travaux récents soulignent l'intérêt de recourir à des méthodes multimodales afin de mieux détecter et suivre les dynamiques affectives (Barrett & Westlin, 2016; Crosswell & Lockwood, 2020), y compris dans ce type d'environnement (Alfano et al., 2018; Gatti et al., 2022). La combinaison de différentes modalités de mesure pourrait offrir une vision plus complète des processus d'adaptation. Toutefois, cette approche est encore peu explorée en psychologie spatiale, en particulier dans le cadre de missions de longue durée (Alfano et al., 2018).

L'objectif général de ce travail est de mesurer et suivre les états affectifs d'individus confrontés à des conditions spatiales simulées de longue durée, en mobilisant une approche multimodale. Notre hypothèse générale postule que ces conditions extrêmes ont une incidence sur l'adaptation affective des personnes.

Afin de tester cette hypothèse, nous nous sommes basés sur le modèle des simulations spatiales. Nous avons participé à deux missions appartenant au programme SIRIUS (pour Scientific International Research in Unique Terrestrial Station = Recherche scientifique internationale dans une station terrestre unique), à Moscou, en Russie. Ces projets ont simulé des missions lunaires, en confinant des groupes de participants dans une reproduction de station spatiale pendant plusieurs mois.

1) Mission SIRIUS-19 :

Pendant la première mission[13], qui a duré quatre mois, nous avons réalisé un suivi des états affectifs en utilisant une démarche multimodale. Nous nous sommes basés sur des indicateurs physiologiques, ainsi que des mesures auto-rapportées d'états affectifs négatifs et positifs. **L'objectif de cette première étude était de suivre l'évolution de ces différents paramètres afin d'avoir un aperçu global de l'adaptation affective des individus confinés.**

Compte tenu de la taille réduite de l'échantillon et de la forte variabilité interindividuelle généralement observée en psychologie spatiale, nous avons opté pour une approche en série de cas. Cette démarche permet de mettre en lumière les trajectoires individuelles de chaque participant tout au long du confinement. **Bien que cette méthode soit de nature descriptive et ne repose pas sur des tests d'hypothèses statistiques, notre étude s'inscrit néanmoins dans une perspective hypothético-déductive. Sur la base de notre revue de la littérature, nous avons formulé l'hypothèse que la mission simulée pourrait entraîner des modifications affectives, à la fois transitoires et chroniques, chez les membres de l'équipage. Nous nous attendions également à ce que ces éventuelles évolutions diffèrent sensiblement d'un individu à l'autre.**

2) Mission SIRIUS-21 :

Les recherches antérieures suggèrent que les modifications affectives sont d'autant plus probables que la durée de confinement est prolongée (Le Roy et al., 2023; Slack et al., 2015). C'est dans cette perspective que nous avons pris part à la mission SIRIUS-21, d'une durée de huit mois. Comme lors du projet précédent, nous avons mis en œuvre une démarche multimodale afin de suivre l'adaptation affective des participants. Notre approche a été

[13] SIRIUS-19 était la deuxième mission de simulation dans le programme SIRIUS, mais la première à laquelle nous avons participé.

complétée par des mesures physiologiques et auto-rapportées supplémentaires, ainsi que par l'intégration d'un indicateur cognitif. Ce dernier avait pour objectif de saisir une dimension supplémentaire de l'adaptation psychologique, potentiellement sensible aux perturbations affectives (Sandi, 2013).

L'objectif de cette seconde étude était à nouveau d'observer l'évolution des paramètres mesurés afin de mieux comprendre l'adaptation affective des individus en confinement prolongé. Nous avons de nouveau opté pour une approche en série de cas, permettant de rendre compte des trajectoires individuelles. À travers cette démarche, nous avons cherché à déterminer si la combinaison de mesures subjectives, physiologiques et cognitives pouvait permettre d'identifier différents profils d'adaptation à la mission. **Notre hypothèse était que la mission simulée de huit mois aurait un impact sur les dimensions psychologiques, physiologiques et cognitives des états affectifs, tant au niveau du groupe qu'à celui des individus.**

Chapitre III :

Expérimentations

I. Considérations générales

A. Cadre des études : le NEK

Les deux missions de confinement se sont déroulées au sein de l'Institut des Problèmes Biomédicaux (IBMP) situé à Moscou, en Russie. Le cœur des projets SIRIUS est une installation conçue pour simuler une station spatiale, baptisée « NEK » (« Nazemnyy Eksperimental'nyy Kompleks »). Ce dispositif a été conçu pour simuler de nombreuses caractéristiques des vols spatiaux de longue durée : les conditions de vie et de travail en espace confiné, la durée prolongée de la mission, la monotonie inhérente à ce type d'environnement, ainsi que diverses formes de privations, tant sur le plan sensoriel que social (air frais, lumière naturelle, bruit extérieur…). Les équipages sont mixtes et multiculturels, reflétant ainsi la potentielle diversité des équipes lors de véritables missions spatiales. La communication avec l'extérieur est intentionnellement retardée de cinq minutes, simulant ainsi les délais de communication possibles entre la Terre et la station. Enfin, un environnement de simulation de surface planétaire permet de réaliser des simulations d'EVA (« Extra-Vehicular Activity » = sorties extra-véhiculaires).

Cette structure complexe est composée de cinq modules distincts : un module de vie, un module de stockage, un module de travail, un module d'atterrissage et un simulateur de surface planétaire. Chacun de ces modules a une fonction spécifique qui permet de reproduire fidèlement les conditions d'un séjour prolongé dans une station spatiale. Le module de vie (Experimental Unit – EU-150 : 150 m^3) sert de zone résidentielle pour l'équipage, fournissant les commodités nécessaires à la vie quotidienne (e.g. salle de bain, couchage, cuisine, lieux de vie). Le module de stockage (EU-250 : 250 m^3) est destiné à la conservation des ressources, du matériel, et des déchets, mais sert aussi de local pour les activités sportives. Le module de travail (EU-100 : 100 m^3) offre un espace dédié aux activités médicales et expérimentales. Le module

d'atterrissage (EU-50 : 50 m^3) simule les conditions d'arrivée et de départ sur le sol lunaire (comprenant des dispositifs de couchage et d'hygiène). Enfin, le simulateur de surface planétaire (PSS : 1200 m^3) reproduit l'environnement extérieur de la Lune, permettant des sorties extravéhiculaires (voir Figure 4 et Annexe 1 pour plus de photos).

Pour assurer le confort de l'équipage, les niveaux de bruit et d'humidité de la station, ainsi que la qualité de l'air et de l'eau, sont régulés et maintenus à des niveaux appropriés tout au long de la mission. Les participants peuvent ajuster les niveaux de lumière et la température ambiante depuis l'intérieur de la station. Les réserves alimentaires sont maintenues pour garantir la qualité et la quantité nécessaires pendant toute la durée de la mission.

Figure 4 : Plan annoté du NEK à l'IBMP de Moscou, en Russie.

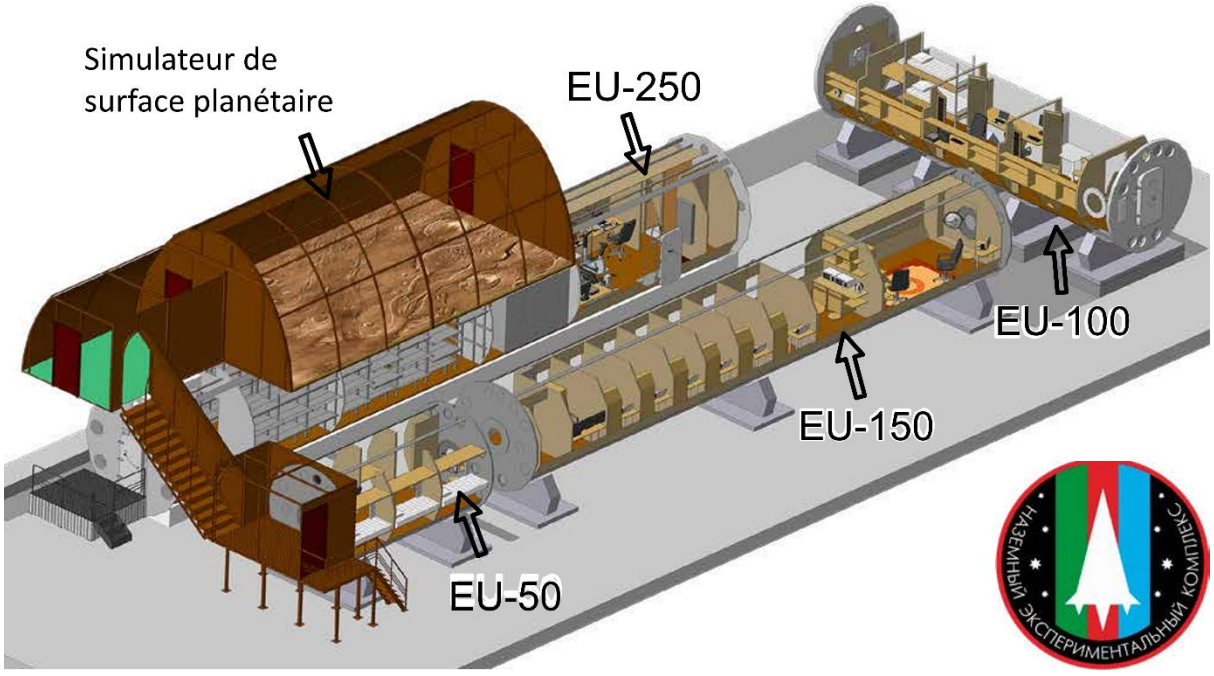


Image issue de la brochure de la mission SIRIUS-19. EU = Experimental Units (Unités expérimentale).

B. Scénario des missions SIRIUS-19 et SIRIUS-21

Le scénario des missions consistait à trouver un emplacement optimal pour un atterrissage lunaire. La mission se déroulait en plusieurs phases. La première étape était de voler vers la Lune et de s'amarrer à une station orbitale. Ensuite, les participants observaient la surface lunaire pendant plusieurs mois afin de sélectionner un site d'atterrissage adéquat. Quatre membres de l'équipage ont simulé un « alunissage ». Deux d'entre eux ont également effectué plusieurs sorties extravéhiculaires en scaphandre. Pendant ce temps, les deux autres membres restés dans la station orbitale fournissaient une assistance technique au reste du groupe. Une fois les opérations de surface terminées, l'équipage au complet se retrouvait à bord de l'orbiteur pour commander des rovers lunaires et gérer l'arrivée de véhicules de transport nécessaires à la construction d'une base lunaire. Cette phase a duré plusieurs semaines. Enfin, les participants retournaient sur Terre, marquant la fin de la mission.

Tout au long de l'expérience, l'équipage a mené des activités typiques d'une véritable mission lunaire, incluant des contrôles de santé quotidiens, des examens médicaux approfondis, un entraînement physique régulier, des activités d'hygiène et sanitaires, ainsi que des excursions virtuelles sur la surface lunaire. En outre, ils ont réalisé des recherches sur les effets du confinement prolongé sur la physiologie et la psychologie humaines, ainsi que sur les dynamiques de groupe. Les participants pouvaient interagir avec le monde extérieur (IBMP et leurs proches) via un coordinateur chargé de recevoir et de transmettre des lettres et des messages.

C. Population de recherche

Les participants aux expérimentations devaient répondre à plusieurs critères stricts pour être éligibles. Tout d'abord, une maîtrise à la fois orale et écrite des langues anglaise et russe

était exigée. Du point de vue professionnel et éducatif, les participants devaient justifier d'une formation avancée ou d'une expérience professionnelle dans les domaines des sciences, de la technologie, de l'ingénierie ou des mathématiques. Une préférence était donnée à ceux possédant un diplôme de niveau avancé (e.g. Master, Doctorat) dans l'un de ces domaines. Alternativement, une expérience militaire d'au moins deux années était également acceptable, une formation d'officier militaire étant particulièrement appréciée. Concernant les critères médicaux et physiques, une acuité visuelle de 20/20, corrigée ou non, était requise pour chaque candidat.

Des critères d'exclusion étaient également en place. Tout candidat ayant des antécédents psychologiques ou psychiatriques, des troubles cardiovasculaires, neurologiques, gastro-intestinaux, du sommeil, ou souffrant de claustrophobie était considéré comme inéligible à participer à cette expérimentation.

D. Contexte initial des projets de recherche et ajustements méthodologiques

Les deux études présentées dans ce manuscrit s'inscrivent dans le cadre de projets de recherche plus larges portés par le laboratoire 2LPN (Université de Lorraine), pendant les missions SIRIUS-19 et SIRIUS-21. Ces projets visaient à mieux comprendre l'adaptation psychologique en milieu confiné et extrême, en s'intéressant tout particulièrement à la dynamique des états affectifs, aux réponses au stress et aux capacités de régulation émotionnelle au cours de missions prolongées.

Trois objectifs principaux avaient été formulés : (1) suivre l'évolution des états affectifs tout au long de la mission, (2) évaluer les réponses physiologiques, psychologiques et cognitives à une tâche stressante réalisée à plusieurs reprises au cours de la mission, et (3) étudier l'efficacité d'une stratégie de régulation émotionnelle par biofeedback.

Les protocoles prévoyaient l'administration de tâches cognitives en conditions neutres et stressantes (pression temporelle, feedback d'erreur), des mesures physiologiques, des questionnaires psychométriques, ainsi qu'un exercice de régulation émotionnelle proposé à l'issue de chaque session.

Toutefois, plusieurs contraintes ont limité la mise en œuvre complète de ces objectifs. Les données recueillies ont été partiellement compromises par des défaillances matérielles, des erreurs de manipulation ou encore une qualité insuffisante. Par ailleurs, les conditions nécessaires à l'exploitation rigoureuse des mesures liées au stress aigu et à la régulation émotionnelle (standardisation des conditions de passation, nombre suffisant de données exploitables) n'étaient pas réunies de manière satisfaisante.

Face à ces limitations, nous avons choisi de recentrer notre analyse sur les données les plus robustes et les plus exploitables : celles portant sur l'évolution des états affectifs tout au long des missions. Bien que cet axe ne couvre pas l'ensemble des objectifs initiaux, il constitue une contribution utile à la compréhension des mécanismes d'adaptation affective en environnement spatial simulé. Les mesures initialement prévues, qu'elles aient été exploitées ou non, sont présentées dans la section suivante.

E. Outils utilisés pendant les missions

Les deux études présentées dans ce manuscrit reposent sur une approche multimodale combinant des indicateurs psychométriques, physiologiques et cognitifs. Ces mesures sont décrites ci-dessous. Les indicateurs utilisés à chaque mission sont compilés dans le Tableau 4.

1. Mesures psychométriques

Des outils psychométriques sous forme papier ont été utilisés pour évaluer les ressentis affectifs des participants. Ils sont présentés en annexe de ce manuscrit.

L'Échelle des affects positifs et négatifs (PANAS, « Positive and Negative Affect Scale » ; voir Annexe 2 ; Watson et al., 1988) est constituée de 20 items. Chaque item est un mot décrivant un sentiment ou une émotion. Certains items traitent des affects positifs (PANAS – positive) tandis que d'autres abordent les affects négatifs (PANAS – negative). Les sujets doivent indiquer dans quelle mesure ils les ressentent. Les réponses proposées vont de 1 pour "Très peu ou pas du tout" à 5 pour "Extrêmement".

Le Self-Assessment Manikin (SAM; voir Annexe 3 ; Bradley & Lang, 1994) est un outil utilisé pour mesurer les dimensions affectives de valence (échelle de valence - SAM) et d'éveil (échelle d'éveil - SAM). Chacune de ces échelles comporte 9 images classées de manière progressive. L'échelle de valence mesure de l'affect le plus négatif à gauche (= 1) à l'affect le plus positif à droite (= 9) avec une image centrale correspondant à un état neutre (= 5). L'échelle d'éveil évalue le niveau d'excitation, allant du moins stimulé à gauche (= 1) au plus stimulé à droite (= 9). Le sujet doit sélectionner sur chacune des échelles l'image qui correspond le mieux à son état.

L'Échelle de Stress Perçu (PSS-10, « Perceived Stress Scale » à 10 items ; voir Annexe 4 ; Cohen, 1988; Cohen et al., 1983) est un questionnaire destiné à évaluer la perception subjective du stress. Il contient 10 questions portant sur la fréquence de certains événements ou sentiments durant le mois précédent. Les participants doivent indiquer à quelle fréquence ils ont été confrontés à ces situations ou sentiments en utilisant une échelle à 5 points, où 0 signifie "Jamais", 1 : "Presque Jamais", 2 : "Parfois", 3 : "Assez souvent", et 4 : "Très souvent". Bien que la PSS soit fréquemment considérée comme un outil unidimensionnel, des recherches ont

montré la présence de deux sous-échelles correspondant à une perception d'impuissance (« PI » - items formulés négativement) et à une perception d'auto-efficacité (« PAE » - items formulés positivement ; Hewitt et al., 1992; Roberti et al., 2006).

L'Inventaire de l'Anxiété - État (STAI-YA, « State-Trait Anxiety Inventory » – version A ; voir Annexe 5 ; Spielberger, 2010), a également été administré afin de mesurer les niveaux d'anxiété du mois précédent. Ce questionnaire est composé de 20 affirmations décrivant comment les sujets se sentent à un moment donné (dans notre cas, "au cours du mois dernier"). Les individus sont invités à indiquer l'intensité de leurs ressentis sur une échelle à 4 points : 1 pour "Non", 2 pour "Plutôt Non", 3 pour "Plutôt Oui", et 4 pour "Oui".

Ces outils sont valides et fiables pour évaluer les états affectifs (Bradley & Lang, 1994; Cohen, 1988; Spielberger, 2010; Watson et al., 1988). Leurs propriétés psychométriques solides, leur facilité d'utilisation et leur brièveté les rendent adaptées aux conditions de confinement, où l'autonomie des sujets et des évaluations rapides sont requises (Alfano et al., 2018; Poláčková Šolcová et al., 2014). De plus, leur utilisation fréquente dans la recherche en milieux analogues à l'espace permet une standardisation et facilite les comparaisons entre les études (Van Ombergen et al., 2022).

2. Mesures physiologiques

Le système nerveux autonome (SNA) et l'axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien (HHS) sont tous deux sensibles au stress psychologique et aux variations affectives (Giannakakis et al., 2019; Godoy et al., 2018). Leur activité peut être évaluée à travers plusieurs marqueurs physiologiques, tels que la fréquence cardiaque ou les niveaux de cortisol. Ces paramètres, qu'ils soient électrophysiologiques ou hormonaux, sont couramment utilisés dans la littérature pour étudier l'activation émotionnelle, la charge allostatique et les processus d'adaptation en contexte contraignant (Dunn Rosenberg et al., 2022; Giannakakis et al., 2019;

Russell et al., 2012). Dans le cadre de nos recherches, plusieurs de ces mesures ont été sélectionnées afin de mieux appréhender les réponses psychophysiologiques des participants au confinement prolongé.

L'électrocardiogramme (ECG) a été enregistré en utilisant trois électrodes placées sur la poitrine. Ces électrodes autoadhésives à usage unique étaient pré-gélifiées et faites d'argent/chlorure d'argent (Ag/AgCl). Le signal a été amplifié avec un gain de 1019 et une bande passante de 0,5-100Hz a été appliquée. La Fréquence Cardiaque (FC) et le rapport Basse Fréquence / Haute Fréquence (LF/HF) ont été extraits du signal ECG lors de l'analyse. Le ratio LF/HF représenterait l'équilibre entre les activités des systèmes sympathique et parasympathique (Kim et al., 2018). Il s'agit d'un indicateur de la variabilité de la fréquence cardiaque (HRV), qui est également modifiée pendant le stress psychologique (Giannakakis et al., 2019; Kim et al., 2018).

L'activité électrodermale (AED), un autre marqueur de l'activité sympathique, reflète les variations de la conductance de la peau liées à l'activité des glandes sudoripares, notamment en réponse à l'éveil ou au stress (Giannakakis et al., 2019). Elle a été mesurée à l'aide de deux électrodes pré-gélifiées placées sur le côté antérieur de l'index et du majeur de la main non dominante. Le signal a été enregistré avec une plage de 0-25 µS (micro-siemens) et une bande passante de 0-3Hz a été appliquée. Le niveau de conductance cutanée (SCL, « Skin Conductance Level ») a été extrait du signal AED lors de l'analyse.

Ces différents paramètres électrophysiologiques ont été mesurés à l'aide du système d'acquisition Biosignalsplux (PLUX Wireless Biosignals S.A., Lisbonne, Portugal). Ces signaux ont été enregistrés pendant deux minutes avec une fréquence d'échantillonnage de 2000 Hz. Ils ont ensuite été analysés hors ligne à l'aide du logiciel AcqKnowledge 4.2 (Biopac Systems Inc., Goleta, CA, USA).

Le taux de cortisol dans les cheveux (HCL, « Hair Cortisol Level ») a pu être obtenu en prélevant des mèches au niveau postérieur du crâne (à environ quatre centimètres au-dessus de la base du crâne et le plus proche du scalp possible). Après le confinement, une technique d'analyse « ELISA » a été employée pour quantifier le niveau moyen de cortisol contenu dans le dernier centimètre de cheveu (celui étant le plus proche du cuir chevelu ; Gow et al., 2010). Cette méthode est utilisée pour estimer les niveaux de cortisol dans le corps au cours du mois précédent (1cm = 1 mois). Il s'agit d'un indicateur rétrospectif de l'activité de l'axe HHS et du stress chronique (Russell et al., 2012).

Le HCL présente l'avantage d'être facile à collecter et à conserver dans le contexte d'un vol spatial de longue durée, et le prélèvement peut rester stable pendant plusieurs années avant de se dégrader (Russell et al., 2012; Thieme et al., 2020).

3. Mesures cognitives

Les états affectifs ne se traduisent pas uniquement par des ressentis subjectifs ou des modifications physiologiques : ils peuvent aussi moduler certains processus cognitifs. Plusieurs travaux ont montré que le stress, l'anxiété ou d'autres perturbations affectives favorisent le recours à des stratégies automatiques, au détriment de fonctions exécutives telles que le contrôle attentionnel, la flexibilité mentale ou l'inhibition (Eysenck et al., 2007; Larue et al., 2018). Ces altérations sont particulièrement préoccupantes dans des contextes opérationnels complexes comme les missions spatiales, où le maintien des performances cognitives est requis pour la sécurité et la réussite des opérations.

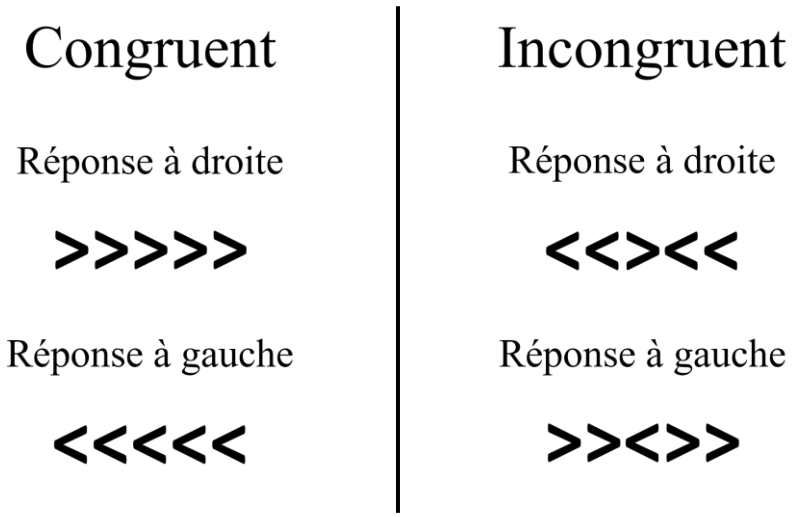
Dans cette perspective, l'intégration d'une tâche cognitive dans notre protocole vise à évaluer indirectement l'impact des variations affectives sur le traitement de l'information. Ce type de mesure vient compléter les mesures subjectives et physiologiques, en fournissant des indices fonctionnels sur l'état psychologique des individus. Elle contribue ainsi à une évaluation plus globale et nuancée de l'adaptation affective en situation de confinement.

Les participants à la deuxième étude (SIRIUS-21) ont réalisé une tâche cognitive Eriksen-Flanker (Eriksen & Eriksen, 1974). Il s'agit d'une procédure permettant d'étudier le contrôle attentionnel et la capacité de l'individu à traiter sélectivement des informations pertinentes tout en ignorant les informations non pertinentes.

Dans cette tâche, un stimulus central (appelé le "target" ; symbolisé par une flèche directionnelle orientée vers la gauche ou la droite) est présenté en même temps que d'autres stimuli adjacents (les "flankers" ; voir Figure 5). Ces stimuli adjacents peuvent être congruents ou incongruents par rapport au stimulus central. Lorsqu'ils sont congruents, les « flankers » et le stimulus central suggèrent la même réponse (une direction identique, vers la droite ou vers la gauche). En revanche, lorsqu'ils sont incongruents, les « flankers » suggèrent une réponse différente de celle du stimulus central (voir Figure 5).

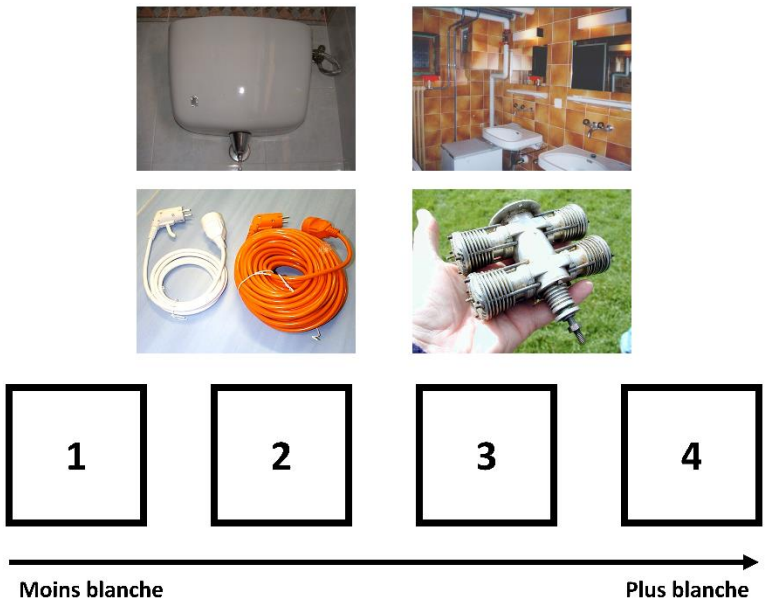
En général, le participant a pour instruction de répondre aussi rapidement et précisément que possible au stimulus central, tout en ignorant les stimuli adjacents. Si la flèche centrale indique vers la droite, le participant appuiera sur un bouton à sa droite. Si la flèche centrale indique vers la gauche, le participant appuiera sur un bouton à sa gauche.

Figure 5 : Modalités des stimuli de la tâche Eriksen-Flanker



Nous avons apporté des modifications à cette tâche pour notre recherche. Au cours de la procédure, il était demandé aux participants de catégoriser quatre images neutres, en les classant de la moins blanche à la plus blanche (voir Figure 6). Cette étape a été intégrée pour maintenir un état affectif neutre tout au long de l'exercice. Après cette catégorisation, les participants effectuaient 10 essais de la tâche Eriksen-Flanker (5 essais congruents et 5 essais incongruents, présentés dans un ordre aléatoire). Cette séquence (classement des images + 10 essais) a été répétée 16 fois, soit un total de 160 essais de la tâche Eriksen-Flanker.

Figure 6 : Classification d'images



Écran présenté aux participants lors de la tâche de classification des images selon leur degré de blancheur. Les participants devaient sélectionner chaque image à l'aide de la souris, puis la déposer dans la case correspondant à leur estimation, en les ordonnant de la moins blanche à la plus blanche.

Les images utilisées dans notre protocole proviennent de la « banque d'images affectives de Genève » (GAPED; Dan-Glauser & Scherer, 2011). Cette base de données regroupe des images ayant été évaluées en termes de valence affective par un groupe d'individus. Chaque image a reçu un score de valence allant de 0 (indiquant une valence négative) à 100 (indiquant une valence positive). Un score intermédiaire de 50 est associé à une valence neutre. Pour notre

étude, nous avons sélectionné des images ayant reçu un score de valence compris autour de 50±10, garantissant ainsi que les stimuli avaient une connotation affective neutre.

Les stimuli ont été présentés électroniquement sur l'écran d'un ordinateur portable, à l'aide du logiciel PsychoPy3 (Psychology Software Tools, Pittsburgh, PA). Les participants ont interagi avec l'interface via le clavier de l'ordinateur portable et une souris.

4. Mesures non exploitées

Dans le cadre des missions SIRIUS-19 et SIRIUS-21, plusieurs mesures psychométriques, physiologiques, cognitives et comportementales avaient été initialement prévues afin d'évaluer les états psychologiques des participants. Toutefois, certaines n'ont pas pu être intégrées dans les analyses présentées ici, en raison de problèmes techniques (défaillances matérielles, erreurs de manipulation), d'une qualité de données insuffisante (bruit, artefacts), de valeurs manquantes, ou d'une exploitabilité jugée limitée au regard des objectifs du présent manuscrit. Cette section rend compte de ces données écartées.

a) SIRIUS-19

Sur le plan psychométrique, l'anxiété état avait été évaluée à l'aide du questionnaire STAI-YA. Mais les données recueillies étaient incomplètes ou jugées inexploitables, et n'ont donc pas été retenues dans l'analyse finale.

En physiologie, des enregistrements ECG ont été réalisés afin d'analyser la fréquence cardiaque et la variabilité de la fréquence cardiaque (HRV). Cette dernière devait être étudiée à partir d'indices temporels (Ecart-Type des intervalles NN - SDNN) et fréquentiels (rapport LF/HF). L'activité électrodermale (AED) a été mesurée afin d'en extraire la conductance cutanée (Skin Conductance Level - SCL). De plus, un capteur de photopléthysmographie (PPG) avait été utilisé pour estimer l'amplitude du signal de pouls (Blood Volume Pulse, BVP), un marqueur indirect de la vasoconstriction périphérique reflétant l'activité du système nerveux

autonome. Ces mesures ont été écartées en raison de la qualité insuffisante des signaux, d'artefacts fréquents, et de données manquantes.

Au niveau cognitif, une tâche de Stroop modifiée a été administrée sur ordinateur, avec des conditions interférente et non interférente (Stroop, 1935). Cette tâche visait à évaluer le contrôle inhibiteur, en lien avec des modifications affectives. Les analyses prévues portaient sur les temps de réaction et la précision des réponses. Toutefois, des erreurs de manipulation, des incertitudes sur les conditions de passation et la présence de données aberrantes ont conduit à l'exclusion de ces données.

b) SIRIUS-21

Bien que cette mission ait permis de valoriser un plus grand nombre de données, certaines mesures ont également dû être écartées.

En physiologie, le signal PPG a de nouveau été enregistré pour analyser le BVP, mais la qualité du signal s'est révélée insuffisante. Un capteur d'activité respiratoire avait aussi été utilisé pour mesurer la fréquence et l'amplitude des respirations, mais les données recueillies présentaient également des problèmes techniques et de fiabilité.

Deux tâches comportementales informatisées ont également été administrées mais non intégrées dans ce travail : une tâche de reconnaissance d'expressions faciales émotionnelles (Emotion Recognition Task – ERT), destinée à évaluer la cognition sociale en situation de confinement, et une tâche de coordination visuo-motrice (Motor Praxis Task – MPT), visant à examiner la stabilité des habiletés sensori-motrices. Bien que les passations aient été correctement réalisées, ces tâches ont été écartées en raison de certaines limites méthodologiques et d'un manque de pertinence par rapport aux objectifs centraux du présent travail.

Tableau 4 : Tableau récapitulatif des mesures prévues, exploitées et non exploitées pendant les missions SIRIUS

SIRIUS-19	**SIRIUS-21**
Mesures Psychométriques	
PANAS, SAM STAI-YA	**SAM, PSS, STAI-YA**
Mesures Physiologiques	
HCL ECG (FC, SDNN, LF/HF ratio), AED (SCL), PPG (BVP)	**ECG (FC, LF/HF ratio), AED (SCL), HCL** PPG (BVP), Respiration (fréquence, amplitude)
Mesures Cognitives	
Stroop modifié	**Tâche Eriksen-Flanker modifiée**
Mesures Comportementales	
---	Emotion Recognition Task – ERT, Motor Praxis Task – MPT

Ensemble des mesures psychométriques, physiologiques, cognitives, et comportementales réalisées au cours des missions SIRIUS-19 et SIRIUS-21. Les paramètres en gras ont été intégrés dans ce manuscrit. Les autres ont été écartées. PANAS = Positive and Negative Affect Scale, SAM = Self-Assessment Manikin, STAI = State-Trait Anxiety Inventory, PSS = Perceived Stress Scale, HCL = Hair Cortisol Level, ECG = Electrocardiogramme, FC = Fréquence Cardiaque, SDNN = Ecart-Type des intervalles NN, LF/HF ratio = Low Frequency / High Frequency ratio, AED = Activité Electrodermale, SCL = Skin Conductance Level, PPG = Photopléthysmographie, BVP = Blood Volume Pulse.

F. Considérations éthiques

L'intégrité éthique de la recherche est primordiale, notamment lorsqu'elle implique la participation d'êtres humains. En ce sens, nos études ont été examinées et ont reçu l'approbation de la Commission Bioéthique de l'IBMP, à l'Académie des Sciences de Russie. Cet aval institutionnel garantit que l'expérimentation respecte les normes éthiques en vigueur et vise à protéger les droits, la santé et le bien-être des participants.

Avant de s'engager dans les missions, les participants ont été informés de la nature des études qui y seraient menées. Cette présentation comprenait une explication détaillée des objectifs, des méthodes employées, ainsi que des potentiels risques et bénéfices associés à leur participation. Pour garantir leur pleine compréhension et leur consentement éclairé, chaque individu a été invité à lire et signer la documentation adéquate. Ce processus veillait à ce que chaque participant s'engage de manière volontaire, en toute connaissance de cause, et conformément aux principes éthiques fondamentaux de la recherche

Afin de garantir la confidentialité des participants et de respecter leurs droits individuels, toutes les données issues de nos études ont été anonymisées. Toute information permettant d'identifier directement un participant a été retirée ou modifiée. Chaque participant s'est vu attribuer un code unique, remplaçant toute donnée personnelle dans nos enregistrements.

II. Expérimentation 1 : SIRIUS-19

A. Méthodologie

1. Sujets

L'équipage était composé de six individus : 3 femmes et 3 hommes, dont 4 russes et 2 états-uniens. La moyenne d'âge (min = 28, max = 44) était de 37,67±7,09 pour les hommes, et de 30,00±2,65 pour les femmes.

2. Paramètres étudiés

Les outils de mesure et les indicateurs analysés dans cette étude ont été présentés précédemment (SIRIUS-19 - Mesures psychométriques : PANAS, SAM ; Mesure physiologique : HCL).

3. Procédure

Notre procédure expérimentale a été validée par un comité d'éthique de l'IBMP (Numéro de protocole : #501; 18 février 2019).

La période de confinement de quatre mois a débuté le 19 mars 2019 et s'est terminée le 17 juillet 2019. Notre protocole a été réalisé une fois avant le confinement (Jour de Mission (MD) -5 ; session « PRE ») et quatre fois au cours de la mission (MD15, MD45, MD75, MD105). La procédure a été effectuée mensuellement, conformément aux exigences de l'IBMP et des organisateurs.

Pendant la mission, chaque sujet a réalisé le protocole de manière autonome. Cette absence de supervision directe pouvait introduire une variabilité dans la compréhension et l'exécution des tâches, ce qui pouvait potentiellement affecter la cohérence des données. Pour limiter cette variabilité, une formation a été dispensée avant la mission, et un manuel détaillé décrivant l'ensemble du protocole a été fourni. Par ailleurs, l'un des membres de l'équipage (le

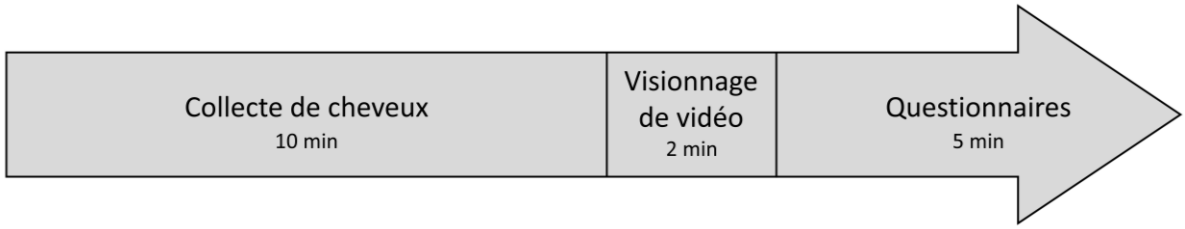
médecin de bord) a été désigné comme référent pour notre protocole. Il a reçu une formation approfondie sur le déroulement des procédures et l'utilisation des outils. Il était chargé de veiller au bon déroulement des sessions, d'apporter un soutien technique si nécessaire, et de garantir, autant que possible, la conformité aux instructions. Cette organisation visait à assurer une standardisation de la collecte des données, malgré l'absence d'un expérimentateur sur place.

Chaque session débutait par la collecte d'un échantillon de cheveux, prélevé aussi près que possible de l'apex postérieur du crâne à l'aide de ciseaux. Les mèches étaient ensuite enveloppées dans du papier aluminium, puis placées dans un sachet alimentaire en vue de leur conservation.

Les participants visionnaient ensuite une vidéo de deux minutes présentant des images neutres (paysages), conçue pour stabiliser leur activité cognitive. Durant cette phase, il leur était demandé de limiter leur activité motrice, cognitive et comportementale.

Enfin, ils complétaient deux questionnaires auto-rapportés (PANAS et SAM) visant à évaluer leurs états affectifs au moment de la passation (voir frise, ci-dessous).

Figure 7 : Frise décrivant le déroulement du protocole de la mission SIRIUS-19



4. Analyse de données

En raison de problèmes techniques, les valeurs de référence de HCL ont été exclues pour tous les participants (session MD-5 – « PRE »). Nous avons seulement pris en compte les données de HCL au cours de la période de confinement. Il nous manquait également les données

psychométriques d'un sujet lors de la session de référence et deux valeurs de HCL, l'une à MD75 et l'autre à MD105.

La faible taille de l'échantillon (N=6) a limité l'utilisation de tests statistiques inférentiels. Nous avons donc privilégié une démarche descriptive. Les données issues des mesures psychométriques (PANAS-positive, PANAS-négative, SAM-valence et SAM-éveil) et physiologiques (HCL) sont présentées individuellement pour chaque sujet. Nous avons également considéré des statistiques descriptives telles que la moyenne ou les écart-types pour observer les tendances de groupe.

Des codes lettres (de A à F) ont été attribués aux sujets pour préserver leur anonymat.

B. Résultats

Nous avons observé une forte variabilité inter-individuelle pour la plupart des mesures (sauf pour le PANAS–négatif). Les valeurs individuelles et de groupe sont détaillées dans le Tableau 5.

Pour les scores PANAS-positif, le sujet A a montré une diminution entre MD15 et MD45, suivie d'une stabilisation. Le sujet B a présenté une augmentation entre MD15 et MD45, avec une stabilisation ultérieure (valeurs maximales). Les sujets C et D ont fluctué davantage que les autres tout au long de la mission, mais ont majoritairement affiché des valeurs élevées (>40). Les scores du sujet E sont restés relativement stables, tandis que le sujet F a présenté des scores plus faibles et stables après MD15. Les scores PANAS-négatif sont restés proches de la valeur minimale et stables (±1) pour tous les sujets.

La valence du SAM est restée majoritairement positive (>5) pour la plupart des sujets tout au long de la mission, à l'exception du sujet F, dont le score est resté autour de 5. Tous les sujets sont restés stables (±1), sauf le sujet C. Les valeurs de SAM-éveil sont restées stables (±1) pour la plupart des sujets, sauf pour les sujets A et C.

Une variabilité inter-individuelle a également été observée pour le HCL. Tous les sujets ont présenté une forte augmentation entre MD15 et MD45 (Figure 8).

Tableau 5 : Valeurs individuelles et de groupe par jour de mission.

SUJETS	PARAMETRES	PRE	MD15	MD45	MD75	MD105
	PANAS–positive	46	34	29	29	30
	PANAS–negative	10	10	10	10	10
A	**SAM–valence**	9	9	9	9	9
	SAM-éveil	2	6	2	4	2
	HCL (pg/mg)	**MV**	50.42	75.36	71.05	77.02
	PANAS–positive	42	50	49	50	50
	PANAS–negative	10	10	11	10	10
B	**SAM–valence**	8	8	7	7	7
	SAM- éveil	7	7	6	7	6
	HCL (pg/mg)	**MV**	21.27	84.50	83.70	59.50
	PANAS–positive	42	46	40	42	42
	PANAS–negative	10	10	10	10	10
C	**SAM–valence**	7	9	5	7	8
	SAM- éveil	2	6	2	6	6
	HCL (pg/mg)	**MV**	16.54	22.39	23.82	13.00
	PANAS–positive	41	45	48	41	38
	PANAS–negative	10	10	10	10	10
D	**SAM–valence**	9	9	9	9	9
	SAM- éveil	8	7	7	7	6
	HCL (pg/mg)	**MV**	55.37	94.82	52.50	66.36
	PANAS–positive	36	38	38	37	39
	PANAS–negative	11	10	10	10	10
E	**SAM–valence**	7	7	6	7	6
	SAM- éveil	5	5	5	5	6
	HCL (pg/mg)	**MV**	12.43	21.69	20.11	**MV**
	PANAS–positive	**MV**	22	24	23	22
	PANAS–negative	**MV**	10	11	11	11
F	**SAM–valence**	**MV**	6	5	5	5
	SAM- éveil	**MV**	1	2	1	1
	HCL (pg/mg)	**MV**	34.70	74.76	**MV**	37.83
	PANAS–positive	(41.40±3.58)	39.17±10.21	38.00±10.02	37.00±9.69	36.83±9.72
	PANAS–negative	(10.20±0.45)	10.00±0.00	10.33±0.52	10.17±0.41	10.17±0.41
TOTAL	**SAM–valence**	(8.00±1.00)	8.00±1.26	6.83±1.83	7.33±1.51	7.33±1.63
	SAM- éveil	(4.80±2.77)	5.33±2.25	4.00±2.28	5.00±2.28	4.50±2.34
	HCL (pg/mg)	**MV**	31.79±18.05	62.25±31.99	(50.23±28.12)	(50.74±25.51)

Valeurs individuelles et statistiques descriptives des mesures psychométriques et du HCL : Moyenne ± Écart-type par jour de mission (horizontal). Population N = 6. Les valeurs entre parenthèses ont été calculées à partir d'un échantillon de 5 sujets. MV = Valeur manquante ; pg/mg = picogrammes par milligramme.

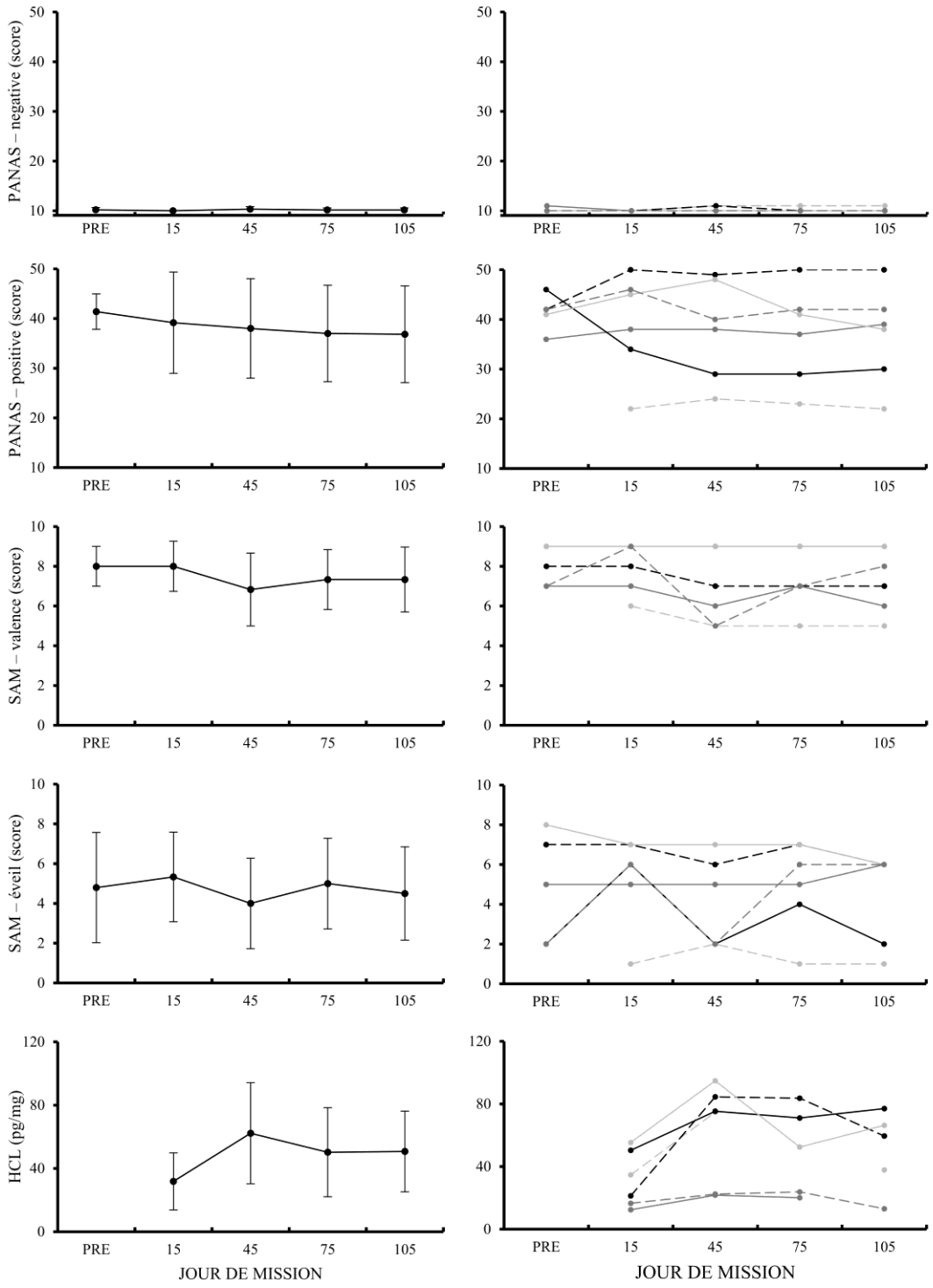


Figure 8 : Représentation graphique des paramètres psychométriques et du HCL lors de la mission SIRIUS-19.

Statistiques descriptives (à gauche) : Moyenne ± Écart-type par jour de mission (horizontal). Valeurs individuelles (à droite) : Sujet A : ligne noire continue, Sujet B : ligne noire pointillée, Sujet C : ligne gris foncé pointillée, Sujet D : ligne gris clair continue, Sujet E : ligne gris foncé continue, Sujet F : ligne gris clair pointillée. Population : N = 6 pendant le confinement ; N = 5 pour la session de référence, MD75 (HCL) et MD105 (HCL). pg/mg = picogramme par milligramme.

C. Discussion

L'objectif de notre étude était d'examiner l'adaptation affective d'individus au cours d'une simulation de mission lunaire de 4 mois. Nos hypothèses étaient que le contexte de confinement induirait des modifications affectives chez les membres de l'équipage.

Pendant la mission, les mesures subjectives n'ont pas montré de tendance temporelle identifiable au niveau du groupe, mais ont plutôt mis en évidence une variabilité interindividuelle. Certains sujets ont maintenu des valeurs relativement stables (par exemple : E), tandis que d'autres ont présenté une plus grande variabilité (par exemple : C). Malgré ces différences interindividuelles, la plupart ont rapporté des états affectifs positifs et ont rarement exprimé des affects négatifs. Même le sujet F, dont les scores de SAM-valence étaient neutres, a affiché des états positifs plus marqués que les états négatifs dans le PANAS. Des résultats similaires ont été observés lors d'un confinement de 520 jours (Mars 500), où les participants ont majoritairement rapporté des états affectifs positifs et des niveaux faibles d'affects négatifs tout au long de la mission (Basner et al., 2014; Poláčková Šolcová et al., 2014), ainsi que lors de missions spatiales réelles (Ritsher et al., 2007). Ces convergences suggèrent que les environnements spatiaux et analogues, bien que contraignants, ne génèrent pas systématiquement une détérioration de l'adaptation affective. Des processus d'adaptation psychologique efficaces peuvent émerger dans ces contextes extrêmes, soutenus par des facteurs individuels (e.g. résilience, motivation, expérience) et collectifs (e.g. cohésion de groupe, soutien mutuel) (Palinkas & Suedfeld, 2021).

Pendant le confinement, nous avons également mesuré un marqueur physiologique (le niveau de cortisol capillaire; Russell et al., 2012). De façon intéressante, tous les participants ont présenté une augmentation notable entre la première (MD15) et la deuxième session de mesure (MD45). Or, les valeurs de HCL obtenues à chaque session représentent l'activité de

l'axe HHS du mois précédent (Russell et al., 2012). Ainsi, la mesure de la première session représente environ les deux semaines avant et les deux semaines après le début du confinement. La deuxième session représente le mois entre MD15 et MD45. Nous suggérons que l'environnement physique, social et psychologique inhabituel (ou inconnu) a pu nécessiter des efforts d'adaptation de la part de l'équipage au début du confinement. Cela a pu augmenter chroniquement l'activité de l'axe HHS et les niveaux de HCL au début de la mission (Godoy et al., 2018). Cependant, ce processus d'adaptation n'était pas associé à des troubles affectifs dans les mesures psychométriques. Ce résultat rejoint les observations d'études précédentes, qui ont également montré une augmentation des marqueurs hormonaux du stress sans détérioration affective associée. Dans leurs recherches, Dunn-Rosenberg et ses collègues (2022) ont décrit une période de "eustress" pendant le premier quart de missions analogues à l'espace. Pendant cette période, il y avait une augmentation de plusieurs indicateurs physiologiques du stress (e.g. cortisol, catécholamines), mais sans perturbations subjectives. Dans ce contexte, les auteurs ont déduit que la mission était perçue davantage comme une situation stimulante mobilisant des ressources physiologiques pour s'adapter, plutôt que comme une situation délétère. Nos résultats sont donc cohérents avec cette phase initiale de "eustress" décrite dans d'autres missions analogues.

Les résultats psychométriques et physiologiques de notre étude présentent une forte variabilité interindividuelle. Ce phénomène a déjà été observé lors de précédentes missions de confinement (Basner et al., 2014; Poláčková Šolcová et al., 2014). Ce constat est aussi corroboré par la littérature scientifique, qui reconnaît de plus en plus la diversité des réponses individuelles dans des contextes contraignants (Jacoby et al., 2021). Face à des conditions similaires, les réactions des individus peuvent varier en fonction de nombreux éléments, tels que la personnalité (Collado et al., 2018; Van Fossen et al., 2021), la culture (Kanas et al., 2009), la qualité du sommeil, la fatigue (Jones et al., 2022) ou encore les relations interpersonnelles

(Palinkas & Suedfeld, 2021).

Dans nos données, aucune influence de l'âge, du genre ou de la nationalité n'a été observée sur les mesures psychométriques ou physiologiques, suggérant que ces variables démographiques n'expliquent pas la variabilité constatée. Celle-ci pourrait plutôt résulter de la combinaison de facteurs individuels et contextuels propres à chaque membre d'équipage.

Ainsi, l'environnement confiné ne semble pas avoir affecté les participants de manière homogène. Il a pu être plus contraignant pour certains que pour d'autres. Loin d'être une anomalie statistique ou technique, nous suggérons que cette variabilité reflète la nature dynamique et idiosyncrasique de la réponse humaine en situation extrême. Elle illustre la manière dont chaque individu mobilise des stratégies (e.g. cognitives, affectives, sociales) propres pour préserver son équilibre psychologique au sein d'un environnement contraint (Le Roy et al., 2023).

D. Conclusion

Nos données de la mission SIRIUS-19 n'ont pas indiqué d'impact majeur des conditions de vie analogues à l'espace sur les états affectifs des participants. L'augmentation du cortisol capillaire observée au début de l'expérience pourrait être attribuée à une phase d'adaptation de l'équipage. Aucune variation affective ne semble être liée à cette phase d'acclimatation.

III. Expérimentation 2 : SIRIUS-21

A. Méthodologie

1. Sujets et paramètres expérimentaux

L'équipage initial comprenait six individus au début de la période de confinement. Cependant, après un mois de mission, l'un d'entre eux a dû se retirer pour des raisons de santé, laissant l'expérience se poursuivre avec cinq participants. L'équipage final était composé de deux femmes et trois hommes, incluant deux participants russes, deux américains et un Émirien. La moyenne d'âge (min = 29, max = 43) était de 36,33±6,11 pour les hommes, et 30,50±2,12 pour les femmes.

La période de confinement de huit mois a débuté le 4 novembre 2021 et s'est terminée le 3 juillet 2022. La procédure expérimentale comprenait des mesures auto-rapportées, des mesures physiologiques, ainsi qu'une tâche cognitive informatisée. Ces mesures ont été effectuées à huit reprises au cours de la mission, précisément aux jours de mission suivants : Jour de Mission (MD) 15, MD45, MD75, MD105, MD135, MD165, MD195 et MD225. Une session contrôle (T0) a été effectuée 20 jours avant le début de la mission (9 sessions au total).

2. Paramètres étudiés

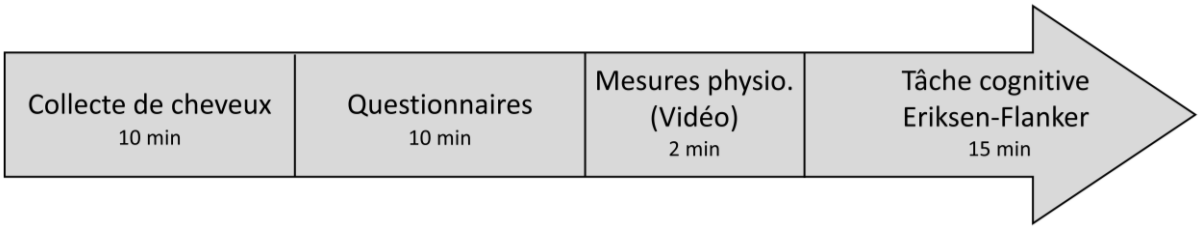
Les outils de mesure et les indicateurs analysés dans cette étude sont présentés précédemment (SIRIUS-21 - Mesures psychométriques : SAM, PSS, STAI Y-A ; Mesures physiologiques : ECG, AED, HCL ; Mesure cognitive : Eriksen-Flanker task).

3. Procédure

Notre procédure expérimentale a été validée par un comité d'éthique de l'IBMP (Numéro de protocole : #530; 17 mars 2020).

Pendant la mission, chaque sujet a réalisé le protocole de manière autonome. Cette absence de supervision directe pouvait introduire une variabilité dans la compréhension et l'exécution des tâches par les sujets, ce qui pouvait potentiellement affecter la cohérence des données. Nous avons minimisé cette variabilité potentielle en fournissant une formation avant la mission et un manuel détaillé du protocole. Cela visait à garantir une standardisation de la collecte des données, même en l'absence d'un expérimentateur.

Figure 9 : Frise décrivant le déroulement du protocole de la mission SIRIUS-21



Chaque session débutait par le prélèvement d'un échantillon de cheveux, coupé aussi près que possible de l'apex postérieur du crâne à l'aide de ciseaux. Les mèches étaient ensuite enveloppées dans du papier aluminium, puis placées dans un sachet alimentaire pour conservation.

Les participants complétaient ensuite plusieurs questionnaires auto-rapportés portant sur leurs états affectifs au cours du mois précédent, notamment la PSS, le STAI Y-A et le SAM.

A l'étape suivante, les participants étaient équipés d'un dispositif d'enregistrement électrophysiologique. L'enregistrement, d'une durée de deux minutes, s'effectuait alors qu'ils étaient assis et visionnaient des vidéos neutres (paysages) sur un ordinateur portable. Ils devaient limiter leur activité comportementale, cognitive et physique afin d'obtenir des mesures physiologiques précises.

Enfin, les sujets réalisaient la tâche cognitive Eriksen-Flanker sur le même ordinateur (voir frise, ci-dessus).

4. Analyse de données

Nos hypothèses ont été testées en analysant divers paramètres psychométriques, tels que le score total de l'échelle PSS (PSS-Total), ses sous-scores relatifs au sentiment d'auto-efficacité (PSS-PAE) et au sentiment d'impuissance (PSS-PI), le score de l'échelle d'anxiété STAI Y-A, et les scores de valence et d'éveil de l'échelle SAM. Nous avons également analysé des paramètres physiologiques tels que la FC, le rapport LF/HF, le SCL et le HCL.

Sur le plan cognitif, nous avons considéré deux catégories de paramètres. La première concerne la performance temporelle, exprimée en millisecondes. Celle-ci comprend : (1) la médiane des temps de réaction en condition congruente, (2) la médiane des temps de réaction en condition incongruente, et (3) la différence entre ces deux conditions, représentant l'« effet d'inhibition » (médiane du temps de réaction durant la condition incongruente - médiane du temps de réaction durant la condition congruente). La seconde catégorie concerne la qualité de la performance (QOP). Elle comprend : (1) le nombre de réponses valides en condition congruente, (2) le nombre de réponses valides en condition incongruente, et (3) la différence entre ces deux conditions (« Effet d'inhibition » = nombre de réponses valides en condition congruente - nombre de réponses valides en condition incongruente).

La petite taille de l'échantillon (N=5) a restreint l'utilisation de tests statistiques inférentiels. Nous nous sommes donc limités à des statistiques descriptives (moyenne, écart-type) et aux valeurs individuelles de chaque sujet.

Pour visualiser nos données, nous avons utilisé des graphiques représentant les moyennes et les écarts-types de l'équipage pour chaque session. Cela nous a permis d'observer les tendances générales du groupe pendant le confinement. Nous avons également présenté un second graphique affichant les valeurs de chaque participant par session. Cela nous a permis de considérer les trajectoires individuelles au cours de la mission.

Des codes lettres (de A à E) ont été attribués aux sujets pour préserver leur anonymat.

B. Résultats

1. Mesures psychométriques

Les paramètres psychométriques sont présentés dans la Figure 10 et le Tableau 6. Aucune tendance générale ni évolution temporelle uniforme n'a été observée au sein du groupe pendant la mission. De manière générale, les données montrent une forte variabilité, à la fois entre les participants (interindividuelle) et d'une session à l'autre chez un même individu (intra-individuelle). Les scores de PSS présentent des différences particulièrement marquées entre les participants, les sujets C et E rapportant des niveaux plus élevés que les autres dès la session de référence.

Le STAI est le seul paramètre à présenter une quasi-absence de variabilité, avec des scores proches du minimum pour la plupart des sujets (effet plancher). Un participant (B) s'écarte de cette tendance, avec une augmentation progressive de ses scores au fil du temps.

Enfin, les scores de SAM-Valence restent globalement positifs, bien que le participant B se distingue à nouveau par des fluctuations entre états affectifs positifs et négatifs.

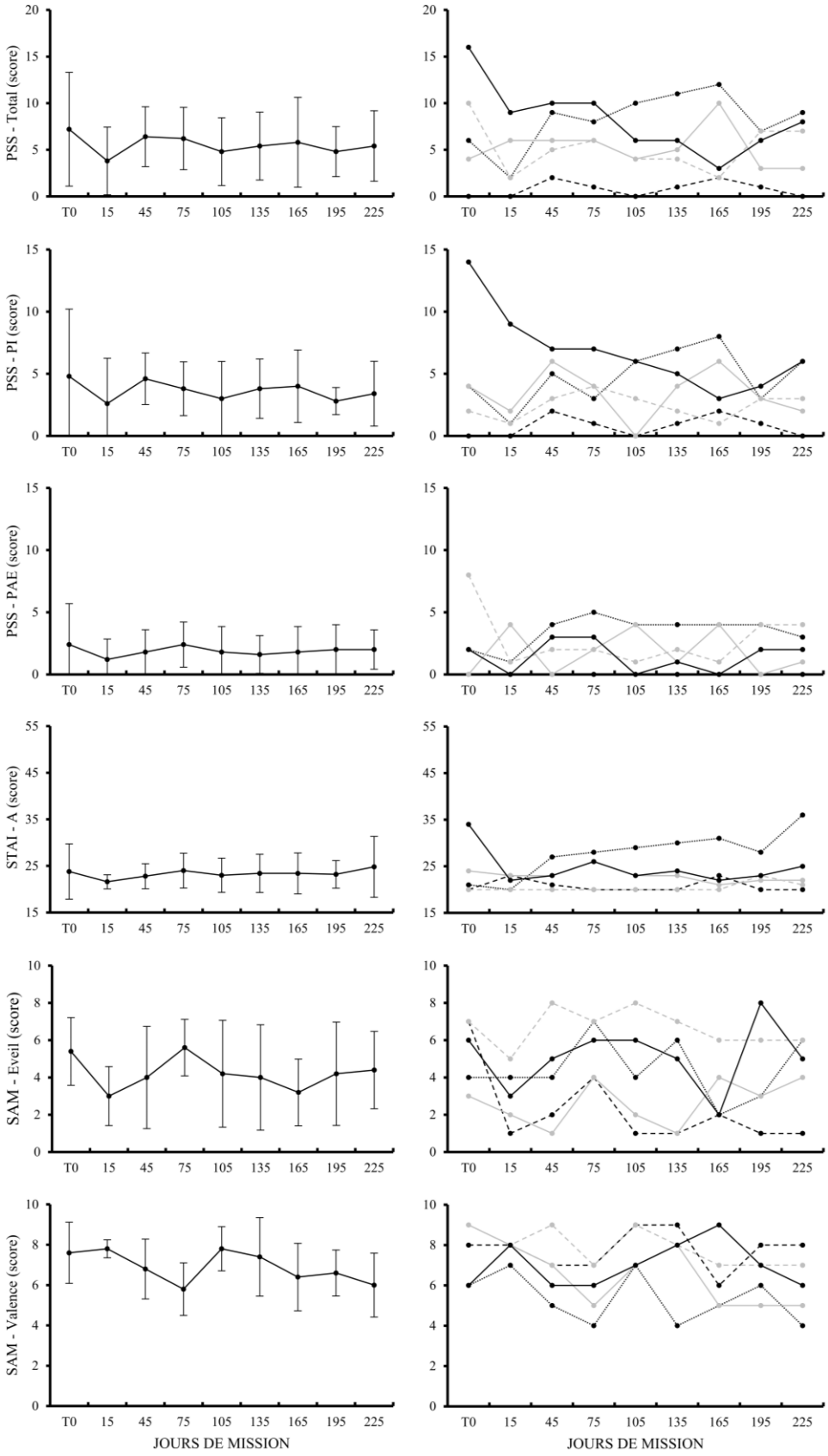


Figure 10 : Représentation des paramètres psychométriques pendant la mission SIRIUS-21

Représentation graphique des valeurs moyennes (avec écarts-types ; à gauche), et des valeurs individuelles (à droite). Sujet A (SA) = - - - - , SB = ·····, SC = - - - - (gris), SD = ——— (gris), SE = ———.

2. Mesures physiologiques

Les données de SCL au niveau du groupe montrent une diminution en début de mission, suivie d'une augmentation en fin de mission.

La plupart des paramètres physiologiques présentent une forte variabilité interindividuelle et intra-individuelle.

Les trajectoires de fréquence cardiaque (FC) divergent en fonction des participants. Les sujets A et C présentent des valeurs relativement stables, tandis que d'autres présentent des fluctuations. Le sujet E présentait des valeurs de FC élevées au début de la mission, suivies d'une diminution jusqu'à un rythme stable, tandis que le sujet B a présenté une diminution progressive de la FC tout au long du confinement.

Le ratio LF/HF affiche également des trajectoires hétérogènes selon les individus. À MD105, le sujet D présente une valeur particulièrement élevée, tant par rapport aux autres participants qu'aux autres moments de mesure.

Les valeurs de HCL sont globalement stables chez la plupart des participants. Le sujet E se distingue toutefois du groupe par une variabilité plus importante que les autres (voir Figure 11 et Tableau 6).

3. Mesures cognitives

Les paramètres cognitifs (performance temporelle et qualité de performance), sont détaillés dans la Figure 12 et le Tableau 6. Tout au long de la mission, les temps de réaction du groupe ont diminué dans les conditions compatibles et incompatibles (graphiques MED TR CONG et MED TR INCONG, respectivement). L'indice d'inhibition a également diminué, se stabilisant autour de MD75 (graphique DIFF MED TR). Au cours de la mission, un participant (A) a régulièrement présenté un indice d'inhibition plus élevé que les autres.

La qualité de performance du groupe est restée stable dans les deux conditions (graphiques QOP CONG et QOP INCONG, respectivement). Les valeurs étaient plus variables en condition incongruente qu'en condition congruente. Le participant A en particulier, a montré de fortes fluctuations dans la condition incompatible durant la seconde moitié de la mission.

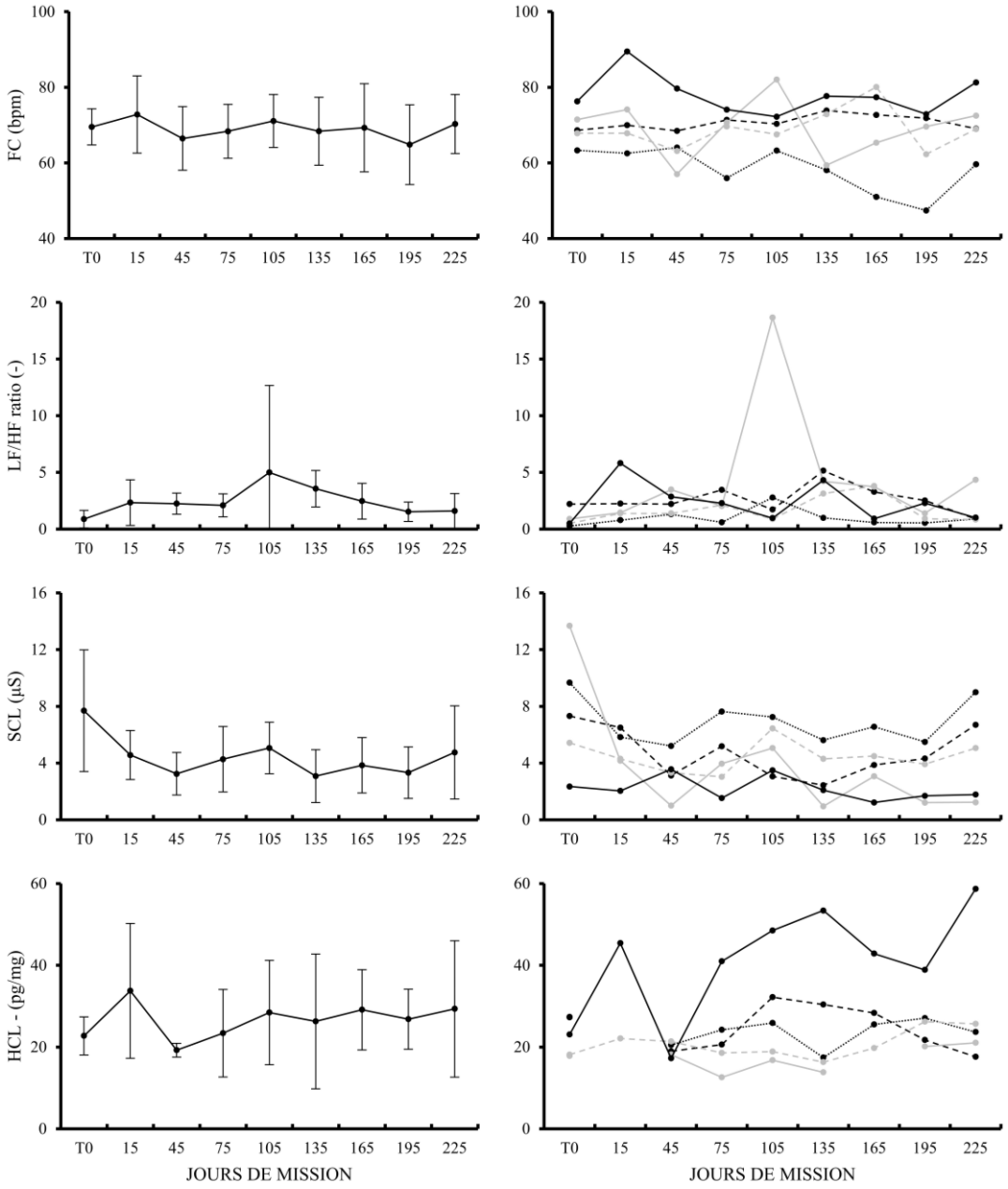


Figure 11 : Représentation des paramètres physiologiques pendant la mission SIRIUS-21

Représentation graphique des valeurs moyennes (avec écarts-types ; à gauche), et des valeurs individuelles (à droite). Sujet A (SA) = - - - - , SB = ·····, SC = - - - - (gris), SD = ——— (gris), SE = ———. FC = Fréquence Cardiaque, bpm = Battements Par Minute, LF/HF ration = Low Frequency / High Frequency ratio, SCL = Skin Conductance Response, µS = Micro-Siemens, HCL = Hair Cortisol Level, pg/mg = Picogrammes par Milligrammes.

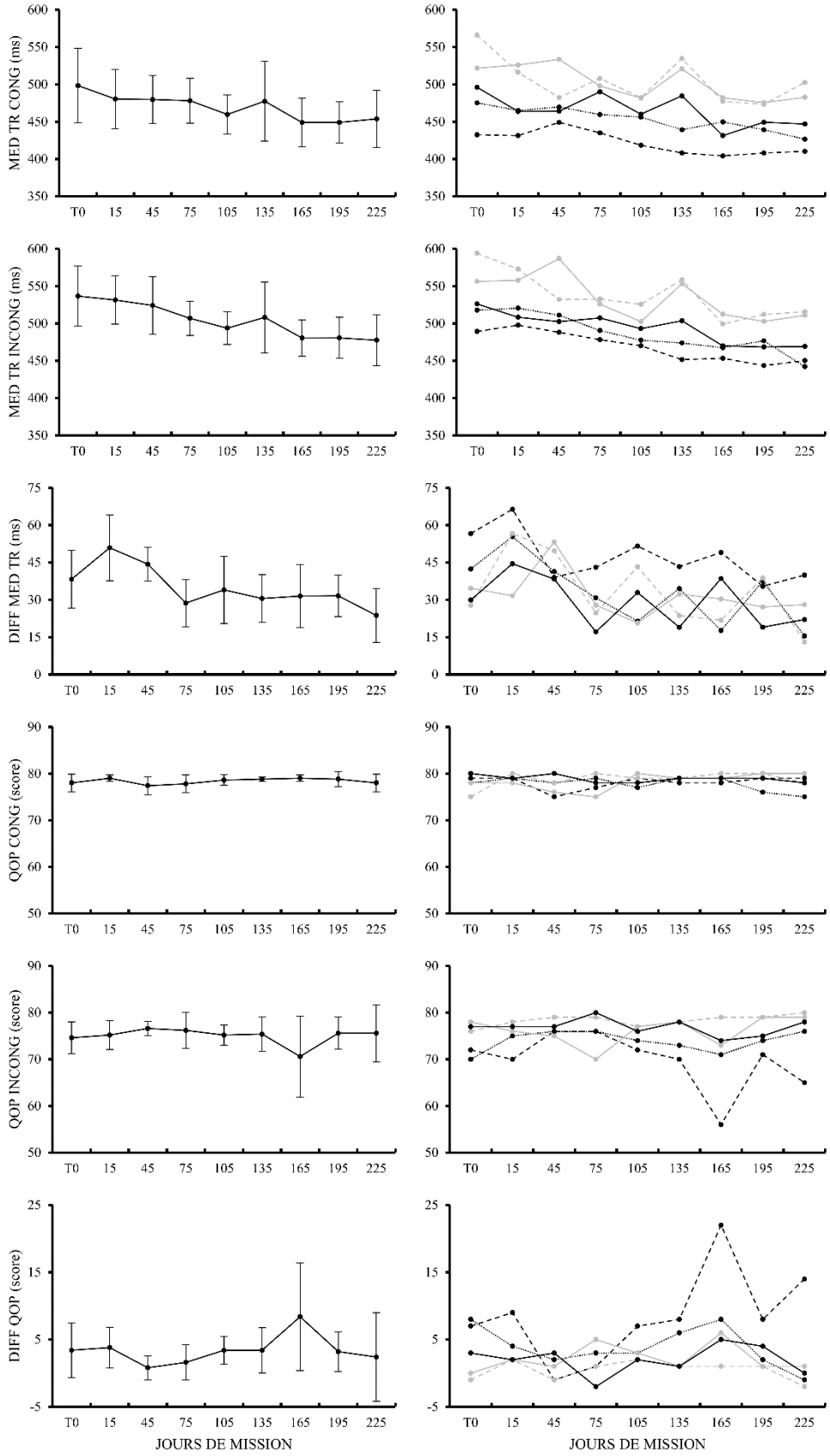


Figure 12 : Représentation des paramètres cognitifs pendant la mission SIRIUS-21

Représentation graphique des valeurs moyennes (avec écarts-types ; à gauche), et des valeurs individuelles (à droite). Sujet A (SA) = - - - - , SB = ·····, SC = - - - - (gris), SD = ——— (gris), SE = ———. ms = Millisecondes.

Tableau 6 : Tableau récapitulatif des mesures psychométriques, physiologiques et cognitives de la missions SIRIUS-21

	T0	MD15	MD45	MD75	MD105	MD135	MD165	MD195	MD225
Mesures psychométriques									
PSS - Total	7,20±6,10	3,80±3,63	6,40±3,21	6,20±3,35	4,80±3,63	5,40±3,65	5,80±4,82	4,80±2,68	5,40±3,78
PSS - PI	4,80±5,40	2,60±3,65	4,60±2,07	3,80±2,17	3,00±3,00	3,80±2,39	4,00±2,92	2,80±1,10	3,40±2,61
PSS – PAE	2,40±3,29	1,20±1,64	1,80±1,79	2,40±1,82	1,80±2,05	1,60±1,52	1,80±2,05	2,00±2,00	2,00±1,58
STAI-A	23,80±5,93	21,60±1,52	22,80±2,68	24,00±3,74	23,00±3,67	23,40±4,10	23,40±4,39	23,20±2,95	24,80±6,53
SAM - Eveil	5,40±1,82	3,00±1,58	4,00±2,74	5,60±1,52	4,20±2,86	4,00±2,83	3,20±1,79	4,20±2,77	4,40±2,07
SAM - Valence	7,60±1,52	7,80±0,45	6,80±1,48	5,80±1,30	7,80±1,10	7,40±1,95	6,40±1,67	6,60±1,14	6,00±1,58
Mesures physiologiques									
FC (bpm)	69,51±4,78	72,80±10,21	66,48±8,43	68,36±7,11	71,10±7,00	68,39±8,99	69,30±11,65	64,82±10,56	70,29±7,79
LF/HF (-)	0,88±0,77	2,34±2,01	2,25±0,94	2,10±1,02	5,00±7,67	3,56±1,61	2,46±1,58	1,53±0,86	1,60±1,54
SCL (µS)	7,69±4,29	4,57±1,73	3,24±1,50	4,27±2,31	5,06±1,82	3,08±1,86	3,84±1,95	3,33±1,82	4,75±3,29
HCL (pg/mg)	22,72±4,67	33,76±16,49	19,25±1,68	23,39±10,70	28,46±12,76	26,28±16,48	29,12±9,83	26,81±7,35	29,35±16,68
Mesures cognitives									
Médiane TR - congruents	498,39±50,04	480,47±39,65	479,76±32,36	478,15±30,07	459,71±25,97	477,51±53,55	448,94±32,45	449,08±27,65	453,82±38,39
Médiane TR - incongruents	536,66±39,98	531,40±32,41	524,09±38,50	506,88±23,00	493,71±21,81	508,06±47,31	480,43±24,44	480,67±27,44	477,54±34,02
Médiane TR – différence	38,28±11,71	50,93±13,27	44,33±6,72	28,73±9,50	34,00±13,52	30,55±9,55	31,50±12,67	31,59±8,38	23,72±10,82
QOP – congruents	78,00±1,87	79,00±0,71	77,40±1,95	77,80±1,92	78,60±1,14	78,80±0,45	79,00±0,71	78,80±1,64	78,00±1,87
QOP – incongruents	74,60±3,44	75,20±3,11	76,60±1,52	76,20±3,90	75,20±2,17	75,40±3,71	70,60±8,68	75,60±3,44	75,60±6,11
QOP - différence	3,40±4,04	3,80±3,03	0,80±1,79	1,60±2,61	3,40±2,07	3,40±3,36	8,40±8,02	3,20±2,95	2,40±6,58

Statistiques descriptives : Moyennes ± écart-type en fonction du jours de mission (axe horizontal). Population N = 5. MD = Mission Day ; PSS = Perceived Stress Scale; PI = Perception d'Impuissance ; PAE = Perception d'Auto-Efficacité ; STAI = State-Trait Anxiety Inventory; SAM = Self-Assessment Manikin; bpm = Battements Par Minute; FC = Fréquence Cardiaque; LF/HF = Low Frequency / High Frequency ratio; SCL = Skin Conductance Level; HCL = Hair Cortisol Level; µS = Microsiemens; pg/mg = Picogrammes par Milligrammes; TR = Temps de Réaction; QOP = Quality de la Performance.

C. Discussion

L'objectif de notre recherche était d'examiner l'impact d'une simulation de mission lunaire de 8 mois sur l'adaptation affective, en utilisant des paramètres hétérogènes. Nous avons postulé que ce contexte influencerait les différentes dimensions des états affectifs, tant au niveau collectif qu'individuel.

1. Processus affectifs du groupe

a) Psychométrie

La valence des états affectifs est restée globalement positive tout au long de la mission. Les niveaux de stress perçu et d'anxiété sont restés faibles par rapport à des valeurs issues de la population générale (Ababkov et al., 2016; Poltavski & Ferraro, 2003; Roberti et al., 2006). De plus, aucune tendance temporelle n'indique de perturbation du groupe pendant le confinement. Ces résultats pourraient suggérer que les états affectifs sont restés globalement positifs et stables, et que le contexte de la mission n'a pas eu d'impact négatif majeur sur l'équipage. Des conclusions similaires ont été obtenues lors de confinements précédents (520 jours) où les participants ont signalé peu d'affects négatifs et de nombreux affects positifs pendant toute la durée de la mission (Basner et al., 2014; Pauly et al., 2025; Poláčková Šolcová et al., 2014). Mais ces conclusions générales reflètent des tendances observées à l'échelle du groupe. Elles ne reflètent pas les trajectoires individuelles, qui montrent des profils différents d'un participant à l'autre. Cette variabilité interindividuelle suggère que, même si le groupe dans son ensemble s'est bien adapté, les processus d'adaptation affective diffèrent selon les individus, témoignant de stratégies d'adaptation distinctes (Le Roy et al., 2023; Palinkas et al., 2010). Nous explorerons ce phénomène dans une section ultérieure (C.2).

b) Physiologie

Nous avons observé peu de tendances générales pour les indicateurs physiologiques, en raison d'une forte variabilité interindividuelle et intra-individuelle. Toutefois, de façon intéressante, un phénomène de groupe semble émerger pour le signal de conductance cutanée. Le SCL est un indicateur de l'activité tonique du système nerveux sympathique. Il est souvent utilisé comme marqueur à court terme de l'activation physiologique en réponse à une stimulation, un stresseur, ou toute situation qui mobiliserait des ressources de l'organisme (Giannakakis et al., 2019). Dans notre étude, cet indicateur a diminué au début de la mission, puis a ré-augmenté avant la fin. Cette dynamique pourrait être liée à des contraintes environnementales plus marquées au début et à la fin du confinement. Par exemple, nous savons que le début d'une telle mission est un événement exigeant en raison de l'adaptation à un environnement physique, social et psychologique inhabituel ("Eustress de l'adaptation initiale", comme observé dans Dunn Rosenberg et al., 2022; ou Pauly et al., 2025). La fin des simulations spatiales est également associée à des manifestations de stress, car les participants ressentent une excitation/agitation à l'approche de la fin de la mission (Gushin et al., 1993; Rohrer, 1961). Ces deux périodes de transition pourraient nécessiter une mobilisation accrue de ressources physiologiques, se traduisant par une élévation transitoire de l'activité sympathique et donc du SCL. Toutefois, ces changements physiologiques ne sont pas associés à des modifications des affects subjectifs dans nos données. Il est connu que les indicateurs objectifs et subjectifs du stress ne s'alignent pas systématiquement (Campbell & Ehlert, 2012), notamment en conditions analogues au spatial (Alfano et al., 2018). Une étude de Groemer et coll. (2010) a par exemple constaté une désynchronisation des mesures subjectives de stress perçu et des mesures de cortisol salivaires au cours d'une mission de simulation. Une modification de l'activité physiologique ne reflète donc pas nécessairement une perturbation des états affectifs subjectifs, et inversement. Nous suggérons que les variations du SCL observées pourraient refléter

davantage des processus d'adaptation typiques au début et à la fin de la mission, plutôt qu'un trouble affectif (comme suggéré par Dunn Rosenberg et al., 2022). Ces changements pourraient représenter le «coût physiologique» de l'adaptation aux conditions analogues à l'espace (Pauly et al., 2025). Toutefois, cette interprétation reste spéculative et doit être considérée avec prudence en raison de plusieurs limitations : (1) la taille réduite de l'échantillon limite la généralisation des résultats ; (2) seul le SCL a montré des tendances temporelles, sans que ce phénomène ne soit corroboré par d'autres mesures physiologiques ; et (3) l'absence de tests statistiques inférentiels limite la solidité des conclusions.

c) Cognition

La performance cognitive du groupe est restée efficace tout au long de la mission malgré de fortes fluctuations. Nous n'avons observé aucune altération notable des temps de réaction ou de la qualité de performance pour la plupart des participants, suggérant que leurs capacités exécutives sont restées fonctionnelles face au contexte de confinement. Cette observation est cohérente avec les mesures subjectives, qui indiquent une bonne adaptation affective globale du groupe. En effet, des travaux ont montré que le stress psychologique ou les perturbations émotionnelles peuvent affecter négativement les fonctions exécutives telles que l'inhibition, la flexibilité mentale ou l'attention (Eysenck et al., 2007; Eysenck & Derakshan, 2011). En l'absence de perturbations affectives majeures, on peut s'attendre à ce que le fonctionnement exécutif reste correct pendant la mission.

Une diminution progressive des temps de réaction a été observée dans toutes les conditions de la tâche (congruentes et incongruentes), indiquant une amélioration de la rapidité des participants au cours de la mission. Cette évolution suggère la présence d'un effet d'apprentissage au fil des sessions. Ce phénomène est régulièrement documenté dans les études longitudinales utilisant des mesures cognitives répétées. À mesure que les participants sont exposés plusieurs fois à une même tâche, ils deviennent plus rapides et plus efficaces dans son

exécution. Cette amélioration n'indique pas nécessairement une progression des capacités cognitives elles-mêmes, mais reflète plutôt une familiarité croissante avec les consignes, les stimuli et les mécanismes de la tâche (Scharfen et al., 2018). Cette interprétation est renforcée par la stabilisation de l'indice d'inhibition autour du jour de mission MD75, suggérant que les participants ont atteint un niveau optimal d'efficacité cognitive à mesure qu'ils se sont habitués à la tâche. Ces éléments indiquent donc que l'évolution constatée des performances relève surtout d'une adaptation à la tâche plutôt que d'un effet du confinement ou des conditions analogues au spatial sur les capacités cognitives.

L'ensemble de ces résultats suggère que, malgré les contraintes spécifiques d'un environnement analogue au spatial, le contrôle cognitif et l'inhibition mentale peuvent rester fonctionnels lorsque les états affectifs sont globalement régulés. Ils soulignent également l'importance de considérer les effets d'apprentissage et de familiarisation dans l'analyse des performances cognitives répétées. Ceux-ci pourraient masquer d'éventuelles baisses de performance (dues à la fatigue ou aux états affectifs par exemple) ou être interprétés à tort comme des améliorations cognitives. Ces éléments invitent à approfondir l'étude des liens entre traitement cognitif et processus affectifs dans les environnements analogues au spatial, afin de mieux comprendre les mécanismes d'adaptation mobilisés au cours des missions prolongées.

En résumé, nos résultats psychométriques, physiologiques et cognitifs indiquent que les états affectifs de l'équipage sont restés globalement positifs durant la mission. Cela pourrait suggérer que le contexte de confinement n'a pas eu d'effet délétère majeur sur l'adaptation psychologique du groupe. Cependant, ces conclusions s'appliquent à l'ensemble de l'équipage, mais notre analyse révèle toutefois une hétérogénéité des dynamiques affectives au cours de la mission.

2. Processus affectifs individuels

A chaque session de mesure, nos données ont présenté de grandes différences entre les individus (variations inter-individuelles). Des variations ont également été observées dans la façon dont chaque membre d'équipage a évolué au fil de la mission (variations intra-individuelles). Des observations similaires ont été décrites dans des études antérieures. Plusieurs recherches en confinements analogues ont rapporté des états affectifs hétérogènes parmi les membres d'équipage (Basner et al., 2014) et des variations asynchrones (inter + intra-individuelles ; Pauly et al., 2025; Poláčková Šolcová et al., 2014) au cours des missions. Ces résultats suggèrent que la réponse psychologique des individus face à ces conditions ne serait pas totalement uniforme, mais aurait aussi une composante individuelle.

Cette variabilité inter- et intra-individuelle, étayée par la littérature, nous amène à examiner plus finement les différences observées. En croisant les résultats issus des différentes mesures de notre protocole, nous pouvons tenter de distinguer des profils d'adaptation distincts pendant la mission (voir synthèse dans le Tableau 7) :

- Profils de résilience : Tout au long de la mission, les sujets A et C ont montré des dynamiques similaires, avec un stress perçu faible, une anxiété proche du minimum et les états affectifs les plus positifs du groupe. Les mesures physiologiques n'ont également montré aucune modification notable pouvant être associée à une perturbation affective chez ces participants. Cette stabilité des mesures subjectives et objectives pourrait suggérer que ces participants étaient les plus résilients aux conditions stressantes du confinement. Des observations comparables ont été rapportées lors de la mission Mars-500 (Basner et al., 2014), où certains membres d'équipage ont présenté une valence affective positive et stable tout au long du confinement. Ces profils étaient également associés à de faibles niveaux de stress, de fatigue et de troubles

comportementaux, à une bonne qualité de sommeil ainsi qu'à des relations interpersonnelles harmonieuses avec le reste de l'équipage. Les auteurs ont interprété ces observations comme le reflet d'une forte capacité d'adaptation psychologique et d'une bonne régulation affective et comportementale (Basner et al., 2014). Dans notre étude, les sujets A et C semblent ainsi incarner un profil de « résilience » comparable à celui décrit dans la littérature, se traduisant par une stabilité affective et physiologique face aux contraintes du confinement.

- Profils d'adaptation active : D'autres membres de l'équipage présentaient des profils plus ambivalents. D'une part, les participants D et E ont montré des fluctuations du stress perçu et des mesures physiologiques au cours de la mission (notamment le sujet E). D'autre part, leur anxiété est restée faible et leurs états affectifs sont demeurés globalement positifs. Nous suggérons que ces fluctuations du stress perçu et des signaux physiologiques pourraient indiquer que ces participants ont été plus impactés par les contraintes de la mission que le binôme précédent. Toutefois, ces défis ne semblent pas avoir altéré leur équilibre affectif subjectif. Ce type de profil, combinant états affectifs positifs et activation psycho-physiologique, a également été observé dans des études de confinement antérieures (Dunn Rosenberg et al., 2022). Les auteurs l'interprètent comme une forme d'adaptation active, dans laquelle la mobilisation des ressources physiologiques et psychologiques permet de préserver un équilibre affectif face aux exigences de l'environnement. Cette dynamique semble cohérente avec les observations réalisées chez les sujets D et E.
- Profil de vulnérabilité : Enfin, un individu se démarque nettement du groupe. Le participant B a rapporté un niveau de stress perçu élevé et croissant au fil de la mission. Les valeurs d'anxiété ont également augmenté, tandis que celles du groupe restaient proches du minimum. La valence des états affectifs était généralement la plus basse de

l’équipage, alternant entre des niveaux positifs et négatifs. Ces résultats suggèrent une détérioration des états affectifs au cours de la mission. Plusieurs paramètres physiologiques pourraient corroborer ces observations. De manière intéressante, pendant le confinement, le sujet B a présenté des valeurs de SCL plus élevées que les autres membres de l’équipage, tandis que sa fréquence cardiaque (FC) au repos a progressivement diminué. Or, on sait que le stress chronique peut augmenter la SCL (Dieleman et al., 2015) et diminuer la FC au repos (Furlan et al., 2000; Lucini et al., 2005), en particulier en présence de troubles de l'humeur (ici l'anxiété; Lutin et al., 2022). Ces modifications physiologiques pourraient ainsi refléter la détérioration progressive des états affectifs chez ce participant. Des observations similaires ont été rapportées lors de la mission Mars-500 (Basner et al., 2014), où un membre d’équipage a également montré une détérioration de son adaptation affective. Celle-ci se traduisait par une augmentation des symptômes dépressifs, un niveau élevé de détresse psychologique, de fatigue physique et mentale, et un sentiment de mal-être. Ce participant présentait également des conflits interpersonnels plus fréquents. Les auteurs ont interprété ce profil comme révélateur d’une vulnérabilité psycho-affective accrue pendant la mission (Basner et al., 2014). Toutefois, les analyses portant sur un seul individu dans notre étude, ces observations doivent être considérées avec prudence.

Tableau 7 : Synthèse des profils d'adaptation observés pendant la mission SIRIUS-21

Types de profils observés	Caractéristiques
Résilience Sujets A et C	- Etats affectifs positifs - Stress perçu faible - Indicateurs physiologiques stables
Adaptation active Sujets D et E	- Etats affectifs positifs - Stress perçu instable - Indicateurs physiologiques instables
Vulnérabilité Sujet B	- Etats affectifs instables et/ou qui se détériorent - Stress perçu élevé - Indicateurs physiologiques instables

Pour mieux comprendre les différences individuelles d'adaptation, nous avons examiné l'influence de variables démographiques telles que le genre et l'âge. Le genre a parfois été associé à des différences physiologiques, psychologiques ou comportementales en environnements analogues à l'espace (Leon, 2005; Rosnet et al., 2004; Strewe et al., 2019), mais aucune tendance nette n'a émergé dans notre échantillon, suggérant une adaptation similaire entre les genres. De même, bien que l'âge puisse influencer la régulation émotionnelle et la réponse au stress (Johnson et al., 2017; Nakagawa et al., 2017; Urry & Gross, 2010), aucune relation claire n'a été observée ici. Ainsi, dans notre étude, ni le genre ni l'âge ne semblent avoir modulé de manière notable l'adaptation affective au confinement.

Ces considérations s'inscrivent dans une perspective plus large selon laquelle les dynamiques affectives ne sont pas déterminées uniquement par l'environnement, mais émergent d'une interaction complexe entre les caractéristiques de la situation et celles de l'individu. De nombreux autres facteurs, bien que non mesurés dans notre protocole, sont connus pour moduler l'adaptation des individus : les traits de personnalité (Collado et al., 2018; Van Fossen et al., 2021), la qualité du sommeil, la fatigue (Jones et al., 2022), les dynamiques

interpersonnelles (Landon et al., 2018), mais aussi la génétique, la culture, la santé physique ou encore le niveau d'éducation (Schetter & Dolbier, 2011). Ces variables, en interagissant avec le contexte, contribuent à façonner des expériences subjectives uniques et peuvent expliquer la diversité des réponses d'adaptation observées.

D. Conclusion

Au cours de la mission SIRIUS de 8 mois, nous avons observé que les états affectifs du groupe sont restés globalement adaptés, avec de faibles niveaux de stress perçu et d'anxiété. Les variations de SCL relevées au début et à la fin de la mission ont été interprétées comme des processus d'adaptation typiques plutôt que comme des perturbations affectives. Toutefois, compte tenu de la petite taille de l'échantillon, de l'absence d'autres indicateurs physiologiques présentant des tendances similaires et du manque d'analyses statistiques inférentielles, ces conclusions doivent être interprétées avec prudence. Nous avons également tenté d'identifier différentes dynamiques individuelles au cours de la mission, afin d'approfondir la variabilité de l'adaptation psychologique aux conditions analogues au spatial.

Chapitre IV :

Discussion générale

La littérature sur les effets psychologiques des conditions spatiales présente un manque de consensus, avec des résultats parfois divergents. Pour répondre à ce constat, notre démarche s'est appuyée sur des travaux récents en sciences affectives (Barrett & Westlin, 2016; Crosswell & Lockwood, 2020) et en recherche spatiale (Alfano et al., 2018; Gatti et al., 2022). Ces derniers recommandent une approche multimodale pour évaluer les affects, afin de mieux rendre compte de la complexité des dynamiques affectives, notamment en environnement extrême. À notre connaissance, peu d'études ont mobilisé explicitement ces recommandations dans le contexte de missions spatiales ou analogues de longue durée. Notre objectif était de mesurer et suivre les états affectifs d'individus dans de telles conditions, en combinant des mesures subjectives et des indicateurs objectifs. Pour mettre en œuvre cette démarche, nous avons participé à deux confinements de quatre et huit mois en environnement analogue.

La première étude a montré que les participants se sont globalement acclimatés de manière satisfaisante aux exigences de la mission, en manifestant une prédominance d'affects positifs, et peu d'affects négatifs. Le début du confinement semble avoir nécessité une période d'ajustement de la part des sujets (comme le suggère l'augmentation du HCL), sans que cela ne soit associé à une détérioration des états affectifs. Nous avons ainsi observé que la mesure physiologique ne coïncidait pas nécessairement avec les évaluations subjectives. Enfin, notre étude a été marquée par une grande variabilité entre les individus, suggérant que ces conditions analogues n'impactent pas les personnes de façon uniforme.

La seconde expérimentation a reproduit plusieurs de ces résultats. Le groupe s'est globalement bien adapté à la situation, avec des états affectifs majoritairement positifs et des indicateurs d'anxiété et de stress perçu faibles tout au long du confinement. Le signal de conductance cutanée (SCL) a présenté des variations notables au début et à la fin de la mission, suggérant que ces périodes ont été plus exigeantes en termes d'adaptation pour les sujets. Mais cette activation physiologique n'a pas été associée à une modification perceptible des états

affectifs. Ces variations rappellent l'augmentation transitoire du HCL observée au début de la première mission, suggérant un processus d'adaptation physiologique similaire dans les deux cas. Enfin, nous avons à nouveau constaté de grandes différences inter-individuelles. L'approche multimodale que nous avons mise en œuvre a été utilisée pour esquisser des profils d'adaptation différenciés, mais ces résultats restent exploratoires et doivent être interprétés avec prudence. Les différences observées sont parfois subtiles, et ne constituent pas des catégories rigides : elles suggèrent plutôt l'existence de trajectoires individuelles variables, situées sur un continuum d'adaptation psychologique.

La partie qui suit présentera une discussion générale de notre travail et de nos résultats. La première section examinera l'effet global des conditions spatiales et analogues sur l'adaptation affective. Ensuite, nous mènerons des réflexions sur la variabilité des processus affectifs dans ces conditions, en nous appuyant sur notre cadre théorique en sciences affectives. Cette partie nous permettra de suggérer des approches pouvant être appliquées dans les recherches spatiales. Enfin, nous clôturerons notre manuscrit de thèse en présentant les limites de notre travail et des pistes pour les recherches futures.

I. L’effet des conditions analogues au spatial sur les états affectifs

« Is it really so bad ? » (« Est-ce vraiment si terrible ? » en français). Voici comment Wood et coll. (2000), ont intitulé leur article dans lequel ils examinèrent les journaux d’individus ayant réalisé des hivernages polaires dans des stations en antarctique. Dans leur étude, ils ont observé que les expériences négatives étaient diverses mais peu nombreuses tout au long du séjour, tandis que les expériences positives étaient majoritairement représentées dans les rapports. Ils en ont conclu que l’expérience d’un hivernage polaire était, certes exigeante, mais vécue favorablement par les individus qui y sont confrontés. Nos données sont en accord avec ces observations. Bien que nous ayons identifié un profil d'adaptation plus fluctuant que les autres durant la mission de 8 mois, et malgré des périodes nécessitant des efforts d'adaptation, les participants aux deux confinements ont généralement rapporté une majorité d’affects positifs et une minorité d’affects négatifs.

En formulant cette question spécifique, Wood et coll. soulignent deux phénomènes présents dans notre champ de recherche : (1) la tendance à se concentrer sur les effets négatifs des environnements extrêmes, et (2) les impacts positifs que ces conditions peuvent avoir sur les personnes.

En effet, dans les milieux spatiaux ou analogues, les effets délétères ont tendance à être plus étudiés que les améliorations psychologiques possibles (Alfano et al., 2018). Cependant, l'intérêt pour les effets bénéfiques de ces environnements est croissant. Comme nous l’avons vu précédemment, plusieurs missions dans l’espace ont rapporté des expériences globalement positives chez les spationautes (Slack et al., 2015; Stuster & Barbara, 2016). Des études ont même montré, dans le cadre de missions d’une durée comprise entre 30 et 135 jours, une amélioration de la santé mentale et du bien-être des individus par rapport à leur état antérieur à

la mission (Ihle et al., 2006; Ritsher et al., 2007)[14]. Nous savons aussi que les environnements spatiaux ou analogues peuvent entraîner des conséquences positives après la mission. De nombreuses études montrent que l'exposition prolongée aux ICE peut stimuler le développement personnel et favoriser l'acquisition de caractéristiques psychologiques favorables tels que la confiance en soi, le courage, le souci des autres, les compétences sociales, la bienveillance, l'écologie, ou encore donner un nouveau sens à l'existence (Kanas et al., 2006; Šolcová et al., 2021; Suedfeld et al., 2012, 2013). Ces données issues de la littérature ainsi que de nos deux études vont à l'encontre de la croyance selon laquelle les environnements spatiaux ou analogues compromettraient l'adaptation psychologique. Au contraire, ils suggèrent qu'il est possible de s'y acclimater, voire de tirer profit de ces expériences[15].

Palinkas et Suedfeld (2021) ont identifié quatre hypothèses qui pourraient expliquer les effets psychologiques positifs d'une exposition prolongée à ces conditions : (1) les ICE ne seraient pas significativement plus stressants que d'autres environnements (Suedfeld & Steel, 2000), (2) les individus hautement motivés et auto-sélectionnés qui se portent volontaires pour de telles missions à long terme sont capables de maintenir des niveaux élevés de performance dans de tels environnements sur de longues périodes (Palinkas et al., 1995), (3) certains individus hautement motivés réussissent mieux que d'autres (Palinkas et al., 2000), et (4) de tels environnements génèrent des formes positives de réponse et d'adaptation qui sont bénéfiques pour la santé ("salutogénie"; Antonovsky, 1987).

Ces constats sur les effets bénéfiques des conditions spatiales et analogues ont plusieurs implications méthodologiques. Nous suggérons que les futures études dans ce domaine gagneraient à évaluer les affects positifs aussi rigoureusement que les affects négatifs pendant

[14] Cet effet bénéfique de l'adaptation à un environnement hostile ou extrême est désigné sous le terme de "salutogénie" dans la littérature (Antonovsky, 1987).
[15] Néanmoins, il reste à déterminer si la nature et l'intensité de ces effets bénéfiques diffèrent entre les environnements spatiaux réels et leurs analogues terrestres.

les missions. En effet, nous avons vu que ces deux ressentis peuvent exister simultanément (Palinkas & Suedfeld, 2021). Ainsi, une expérience négative peut être contrebalancée par une majorité d'expériences positives, et vice versa. De plus, l'absence d'affects négatifs ne garantit pas nécessairement la présence d'affects positifs, et inversement. Par exemple, un environnement qui n'induit pas de stress ou d'inconfort peut néanmoins manquer de qualités qui stimulent les ressentis positifs comme la joie, l'inspiration ou la sérénité. Ignorer les affects positifs reviendrait donc à négliger une large gamme d'expériences qui peuvent survenir en environnement spatial ou analogue, et moduler l'adaptation des participants (Alfano et al., 2018).

Nous savons également que l'expression des états affectifs négatifs est souvent réprimée en faveur des affects positifs pendant les missions (Alfano et al., 2018; Poláčková Šolcová et al., 2014). Cette tendance peut s'expliquer par des raisons sociales (e.g. volonté de maintenir la cohésion du groupe, éviter les tensions, rassurer les équipes au sol) mais aussi individuelles (e.g. préserver une image de stabilité psychologique, ne pas apparaître comme fragile ou incapable de gérer la situation) (Alfano et al., 2018; Poláčková Šolcová et al., 2014). Dans ce contexte, les individus ont tendance à minimiser ou dissimuler leurs ressentis négatifs. Les indicateurs d'affects négatifs tendent alors à rester faibles et peu variables, produisant un "effet plancher" qui limite leur valeur informative dans le suivi longitudinal. Ce phénomène a été observé pendant la mission SIRIUS-19 à travers l'échelle PANAS-négative et pendant la mission SIRIUS-21 sur les mesures d'anxiété et de stress perçu qui sont restées faibles et inférieures aux niveaux relevés dans la population générale. À l'inverse, les affects positifs sont davantage tolérés, voire encouragés, et s'expriment de façon plus libre et dynamique (à nouveau constaté dans les données PANAS-positive dans SIRIUS-19 ou dans le SAM-valence pendant les deux études). Ils sont donc susceptibles de présenter une plus grande variabilité au fil du temps (Alfano et al., 2018). Dans ces conditions, une modification des états affectifs positifs

serait plus informative et serait détectée plus rapidement et facilement qu'une variation des états affectifs négatifs (Alfano et al., 2018). Elle pourrait refléter une perte de motivation, une fatigue psychologique ou un trouble affectif ; des signaux pertinents à surveiller dans le cadre du soutien psychologique des équipages. Ainsi, l'évolution des ressentis positifs pourrait constituer un indicateur sensible, et dynamique de l'adaptation affective. Cela pourrait venir compléter des indicateurs classiques de ressentis négatifs (e.g. dépression, anxiété).

Par ailleurs, les affects positifs ont des implications profondes et favorables pour la santé physique et mentale (Fredrickson, 2001; Steptoe et al., 2015). Nous savons notamment qu'ils constituent un facteur de protection et de résilience contre les stresseurs (Folkman & Moskowitz, 2000; Fredrickson, 2005). Ils peuvent donc favoriser l'adaptation psychologique des individus en environnements extrêmes. Par conséquent, considérer les affects positifs des individus permettrait aussi d'estimer leur résilience face aux contraintes environnementales.

Ce changement de paradigme ne se limite pas à des considérations méthodologiques : il s'inscrit dans une évolution plus large des objectifs de la psychologie spatiale. Plutôt que de se focaliser uniquement sur la prévention des troubles ou la détection du mal-être, il s'agit aussi d'explorer les conditions qui favorisent la santé mentale, l'épanouissement et la croissance personnelle en milieu extrême. Cette approche fait écho au concept de « salutogenèse » proposé par Antonovsky (1987), qui invite à étudier les mécanismes de maintien de la santé et du bien-être, plutôt que ceux conduisant à la maladie. Elle rejoint également la notion de résilience, envisagée non pas comme une invulnérabilité, mais comme une dynamique d'adaptation active. Une personne résiliente peut rencontrer des difficultés, traverser des moments de vulnérabilité, mais parvient à retrouver un équilibre psychologique satisfaisant, voire à se renforcer dans l'adversité (Bonanno, 2008). Enfin, cette perspective s'inscrit aussi dans la continuité des travaux de la psychologie positive, qui s'intéressent aux facteurs permettant aux individus de s'épanouir, de développer leurs ressources et de donner du sens à leur expérience (Seligman &

Csikszentmihalyi, 2014).

Dans les contextes confinés, cette approche incite à ne pas réduire l'adaptation à l'absence de symptômes, mais à envisager des trajectoires positives d'ajustement et de transformation (e.g. développement de nouvelles compétences, création de liens interpersonnels solides). Le suivi psychologique en mission pourrait ainsi être repensé pour inclure des indicateurs de bien-être, de motivation, et de croissance personnelle, en plus des marqueurs traditionnels de stress. Pour les missions de longue durée, comme celles envisagées vers Mars, la capacité à maintenir un bien-être psychologique durable deviendra une priorité stratégique. Ainsi, loin de se limiter à la prévention des risques, les recherches futures pourraient aussi être amenées à identifier les leviers individuels, sociaux et environnementaux favorables à une vie psychologique riche et stable dans un contexte extra-terrestre.

Il convient toutefois de nuancer nos conclusions. Les résultats présentés dans cette thèse concernent une population très spécifique, typique des missions spatiales. Les participants étudiés présentaient des caractéristiques proches de celles des spationautes professionnels : formation approfondie, bonne condition physique, haut niveau d'éducation, et stabilité psychologique. Ces éléments sont reconnus comme des facteurs protecteurs dans l'adaptation aux environnements extrêmes (Palinkas et al., 2010; Schetter & Dolbier, 2011). Ainsi, la généralisation de nos résultats à d'autres populations doit être envisagée avec prudence. Les mécanismes d'adaptation mis en évidence ici sont probablement propres à des individus sélectionnés et préparés (bien que leur niveau de préparation reste moindre que celui des spationautes professionnels). Ils ne reflètent donc pas nécessairement les réactions d'une population plus diversifiée ou moins entraînée. Par exemple, les réponses observées dans nos missions de simulation ne peuvent être directement extrapolées à la population générale confrontée à des situations de confinement ou d'isolement prolongé, car les conditions et les profils psychologiques diffèrent profondément. Cela limite la portée de nos résultats.

Par ailleurs, les missions étudiées reposent sur un engagement volontaire, souvent associé à une anticipation positive et à une valorisation de l'expérience. À l'inverse, des situations de confinement non volontaire/imposé, comme celles vécues durant la pandémie de COVID-19, ont révélé que l'adaptation psychologique peut être difficile en l'absence de préparation, de choix, ou de soutien adapté. Plusieurs travaux ont ainsi mis en évidence une augmentation des symptômes d'anxiété, de dépression, et de détresse psychologique dans la population générale durant cette période (Brooks et al., 2020; Passavanti et al., 2021). Toutefois, nous constatons que même dans ces conditions contraignantes, une forte variabilité interindividuelle a été observée, et qu'une majorité d'individus a manifesté des signes de résilience psychologique (Prati & Mancini, 2021).

Ces résultats suggèrent que la nature du confinement (volontaire vs imposé), le degré de préparation, le contexte de vie, et les ressources individuelles disponibles influencent fortement l'expérience affective vécue en milieu confiné. Ainsi, nos conclusions doivent être interprétées à la lumière de ces spécificités, et ne sauraient refléter les dynamiques affectives observables dans des populations plus hétérogènes ou dans des contextes non choisis.

En résumé, nos recherches montrent que les individus étudiés se sont globalement bien adaptés aux conditions de confinement. Ces données suggèrent que les environnements simulés, bien que contraignants, ne génèrent pas systématiquement une détérioration de l'adaptation affective. Cette observation est cohérente avec de nombreuses études dans la littérature scientifique qui soulignent la capacité des individus à s'acclimater à ce type de contraintes (Ritsher et al., 2007). Ces constats incitent à repenser les méthodologies pour suivre l'adaptation affective des personnes en mission.

Néanmoins, malgré les avancées de nos travaux, la compréhension de la psychologie en contexte spatial demeure partielle. Nous ne sommes pas encore en mesure de décrire avec précision l'impact exact de ces conditions extrêmes sur les individus. Ce travail doctoral n'a pas

pour ambition d'apporter une réponse définitive à cette question complexe. Il vise plutôt à mener une réflexion théorique et méthodologique sur notre champ de recherche et à proposer une approche relativiste que nous explorerons dans la section suivante.

II. Des sciences affectives à la psychologie spatiale : une réflexion épistémologique sur la variabilité des processus affectifs

A. Appréhender la variabilité des états affectifs

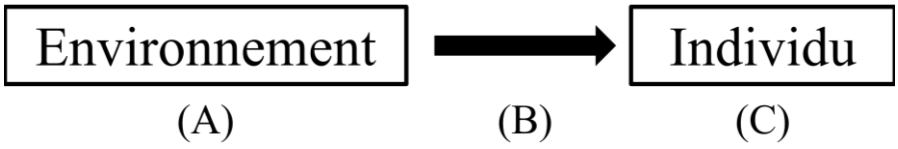
Parmi les diverses problématiques abordées par la psychologie spatiale figure la manière dont différents individus réagissent à des conditions identiques de confinement prolongé. Peut-on parler d'une réponse humaine universelle ou, au contraire, doit-on considérer une pluralité de profils d'adaptation ? Nos résultats pourraient nous aider à éclairer cette question. Une conclusion majeure de nos études porte sur la variabilité de l'adaptation affective au cours des missions. Nous avons observé dans nos deux études une grande diversité dans les mesures réalisées. Dans notre deuxième étude notamment (SIRIUS-21), nous avons essayé d'approfondir cette variabilité en identifiant différents profils d'adaptation à la mission (voir Tableau 7). Ainsi, l'adaptation affective à un même environnement n'était pas la même selon les individus (variabilité inter-individuelle) et selon les moments de la mission (variabilité intra-individuelle). Nous avons vu précédemment que ce type d'observation est récurrente dans ces conditions (Le Roy et al., 2023). Déjà pendant les missions « Mars-500 », qui avaient également lieues dans le NEK, de multiple études ont souligné ces phénomènes de variabilité inter- et intra-individuelle (Basner et al., 2014; Poláčková Šolcová et al., 2014). Ces travaux montrent que, malgré des conditions de vie identiques, les membres d'équipage présentaient des trajectoires d'adaptation différentes. Certains restaient stables et positifs, tandis que d'autres

manifestaient une détérioration progressive de leur bien-être. Cette variabilité a été interprétée comme le reflet de différences en termes de caractéristiques individuelles (e.g. personnalité), de stratégies d'ajustement et de dynamique sociale.

Nos travaux, ainsi que la littérature, suggèrent donc que (1) les conditions spatiales et analogues affectent les individus de manière hétérogène ; et (2) la manière dont ces contraintes se manifestent varie dans le temps différemment selon les individus. Pourtant, comme souvent en psychologie, cette variabilité des données est traditionnellement traitée comme une anomalie méthodologique, un mécanisme à contrôler (Feldman Barrett, 2021). Autrement dit, au lieu d'être considérées comme des phénomènes psychologiques à part entière, les différences interindividuelles sont fréquemment perçues comme du "bruit" statistique qu'il convient de réduire pour mieux dégager des tendances générales. Cette vision découle d'une approche mécanistique des relations entre l'environnement (spatial ou analogue) et les individus. Dans ce cadre, l'environnement (A) exercerait une influence (B) sur les êtres humains (C) (voir Figure 13). L'effet (B) est alors supposé universel, identique pour tous. Les différences observées dans les recherches ne seraient alors que des variations secondaires, causées par des particularités du contexte (A) ou des individus (C). Dans cette perspective, la variabilité ne traduirait pas une réalité psychologique, mais la perturbation d'un effet « pur » et homogène. En conséquence, de nombreux travaux cherchent à isoler ce phénomène. Ils tentent de décrire de manière précise l'influence des environnements spatiaux ou analogues sur l'adaptation psychologique (= isoler B) tout en contrôlant les facteurs issus de l'environnement (A) ou des individus (C). Par exemple, ils standardisent les conditions expérimentales (e.g. durée des missions, composition de l'équipage, nature des tâches, rythme de travail et de sommeil) et sélectionnent des échantillons homogènes (e.g. âge, santé, personnalité, formation). L'objectif est de réduire la variabilité issue de l'environnement et des individus pour dégager un phénomène supposé constant et universel, comme par exemple des processus temporels tels

que le « phénomène du troisième quart » (Bechtel & Berning, 1991; Dunn Rosenberg et al., 2022).

Figure 13 : Représentation de l'approche mécanistique utilisée en psychologie spatiale



Nous tenterons ici de remettre en question cette approche traditionnelle. En sciences, la simplification est certes un outil utile pour identifier des tendances générales. Mais en essayant de lisser les variations, nous prenons le risque de négliger des informations utiles à la bonne compréhension des phénomènes (Bernard, 2023).

Nous avons vu que dans les environnements spatiaux et analogues, l'adaptation psycho-affective est le résultat d'une dynamique complexe et multifactorielle. En effet, l'interaction entre un individu et son environnement est influencée par une myriade de facteurs individuels (e.g. physiologiques, psychologiques, socioculturels, historiques, hypniques ; Collado et al., 2018; Jones et al., 2022; Palinkas et al., 2010; Schetter & Dolbier, 2011; Van Fossen et al., 2021) et contextuels (e.g. facteurs de stress, danger, confinement, facteurs inter-individuels ; Epel et al., 2018; Kanas, 2015; Landon et al., 2018; Le Roy et al., 2023; Palinkas & Suedfeld, 2021). De plus, ces facteurs ne fonctionnent pas isolément mais interagissent de manière complexe, créant des dynamiques qui ne peuvent être prédites par la simple addition de leurs effets individuels (= le tout est plus que la somme des parties). Ainsi, la relation (B) entre l'environnement (A) et l'individu (C) n'est pas statique, mais évolutive, influencée par une multitude de facteurs internes et externes qui interagissent et fluctuent dans le temps (Barrett & Westlin, 2016; Jacoby et al., 2021). Dans une quête de modèles simplifiés, une approche mécanistique risque d'ignorer ces nuances.

De plus, cette approche présuppose que l'environnement et les individus sont stables, et que les

individus sont passifs dans leur interaction avec l'environnement. Or, l'expérience humaine est dynamique et adaptative. Les individus en conditions extrêmes sont capables d'apprendre, de s'adapter, et d'évoluer en réponse à un environnement qui est lui aussi évolutif (Kanas et al., 2006; Šolcová et al., 2021; Suedfeld et al., 2012, 2013). De ce fait, la variabilité observée dans nos études ou dans la littérature n'est pas un facteur de confusion, mais une manifestation de cette capacité d'adaptation (Barrett & Westlin, 2016; Jacoby et al., 2021).

Un parallèle peut être établi entre la variabilité des processus psychologiques en environnement extrême, et la théorie du chaos appliquée aux systèmes dynamiques. Selon cette théorie mathématique, des systèmes qui peuvent sembler désordonnés ou aléatoires, comme la météorologie, sont en réalité déterministes, mais extrêmement sensibles à leurs conditions initiales (Poincaré, 1912). Ce phénomène, souvent désigné sous le nom d'effet "papillon", illustre comment de petites perturbations peuvent entraîner des conséquences majeures et imprévisibles, rendant la trajectoire du système difficilement prévisible à long terme[16].

Dans le contexte des interactions humaines avec l'environnement, chaque individu va réagir de manière unique, influencé par sa propre configuration de conditions initiales qui incluent sa physiologie, sa psychologie, ou ses expériences passées. Ces réponses ne sont pas aléatoires, mais sont plutôt le résultat d'une sensibilité à une myriade de facteurs interdépendants (Ayers, 1997; Feldman Barrett, 2021). Ainsi, tout comme il est impossible de prédire avec exactitude le comportement d'un système chaotique sur le long terme (e.g. météorologie), il est délicat de prévoir précisément la réaction psycho-affective d'un individu dans un environnement donné. Reconnaître la nature dynamique et variable des réponses psycho-affectives revient à admettre que la prévisibilité parfaite est inatteignable. Ce « chaos psychologique », loin d'être une

[16] La théorie du chaos trouve des applications dans de nombreux domaines scientifiques, notamment en psychologie (Combs & Robertson, 2014).

faiblesse, met en lumière la richesse de la diversité humaine et l'importance d'une approche basée sur l'individu pour comprendre et répondre aux défis des environnements extrêmes.

Ainsi, même lorsque des individus sont exposés à des contextes similaires, nous suggérons qu'il serait irréaliste de s'attendre à une réponse affective uniforme ou typique de leur part. L'adaptation à ces conditions pourrait finalement n'être qu'une somme d'adaptations individuelles ; et la variabilité serait une caractéristique inhérente à ce phénomène (« variability is not noise, it is data »; Bernard, 2023). En d'autres termes : **la variabilité est la norme en matière d'adaptation psychologique aux conditions analogues (et probablement spatiales).** Nous essayerons ici de proposer un cadre théorique nuancé, qui serait cohérent avec la variabilité des processus d'adaptation, afin de mieux guider les recherches futures.

B. S'inspirer de l'approche constructiviste dans la recherche spatiale : conséquences et préconisations

En sciences affectives, le constructivisme s'oppose à la vision classique des émotions qui les envisage comme des entités innées, universelles et biologiquement déterminées. Il considère au contraire que les émotions sont des phénomènes psychologiques construits, résultant de l'interaction entre le cerveau, le corps et l'environnement (Barrett & Westlin, 2016). Selon cette approche, les émotions ne reposent pas sur des mécanismes neurobiologiques spécifiques, mais émergent de processus généraux tels que l'intéroception ou la catégorisation. Elles seraient façonnées à partir de l'intégration de multiples sources d'information (e.g. corporelles, cognitives, sociales, culturelles) que l'individu interprète en fonction de son expérience et du contexte (Barrett, 2017b; Zachar, 2022). Autrement dit, les émotions ne sont pas détectées mais fabriquées par le cerveau, qui donne du sens aux signaux corporels et environnementaux en mobilisant des concepts appris au fil des expériences passées (Barrett, 2017a, 2017b). Elles

constituent ainsi un processus dynamique et contextuel, intrinsèquement variable d'un individu à l'autre et au fil du temps.

Nous suggérons que notre champ de recherche gagnerait à s'inspirer d'une telle démarche constructiviste pour appréhender l'adaptation psychologique. A travers ce prisme théorique, l'adaptation affective en conditions spatiales ou analogues serait également un processus construit, interagissant avec une multitude de facteurs et se révélant ainsi comme intrinsèquement variable. Nos résultats semblent illustrer ce phénomène : face à un environnement similaire, les participants aux missions SIRIUS-19 et SIRIUS-21 semblent avoir interprété, anticipé et intégré les contraintes du confinement de manière singulière. Cela pourrait expliquer pourquoi certains profils (comme les sujets A et C de la mission SIRIUS-21) ont maintenu une stabilité, tandis que d'autres (comme le sujet B) ont montré une dégradation progressive de leur état affectif. L'approche constructiviste met en lumière cette diversité des expériences psychologiques en milieux contraignants. Elle fournit une grille de lecture nuancée et flexible qui pourrait s'avérer pertinente pour analyser la dynamique des états affectifs dans ce type d'environnement. Au contraire, une approche classique chercherait à isoler un phénomène sous-jacent considéré comme invariable et universel (= faire ressortir l'essence de (B)).

Le passage à un paradigme constructiviste dans le domaine de la psychologie spatiale entraînerait des répercussions significatives, non seulement dans la manière dont nous abordons la recherche, mais aussi dans les implications pratiques de celle-ci.

La première conséquence de ce changement de paradigme serait une évolution des problématiques de recherche. Des questions comme « quels effets ont les environnements spatiaux sur les individus », ou « quels indicateurs « objectifs » sont les plus fiables pour rendre compte de l'adaptation affective des spationautes » devraient être repensées pour considérer la flexibilité des expériences et des mécanismes psychobiologiques.

Ce changement de paradigme pourrait également avoir des implications pratiques significatives. Par exemple, cela pourrait influencer la manière dont les spationautes sont formés et préparés pour les missions spatiales. Une formation axée sur la subjectivité de l'expérience spatiale et les mécanismes de construction des états affectifs pourrait être bénéfique. Une bonne connaissance du fonctionnement psychologique est déjà un atout pour faire face aux fluctuations affectives pendant les missions.

Comme nous l'avons déjà souligné, dans une démarche constructiviste, il serait également nécessaire de repenser la méthodologie employée pour suivre les états affectifs des individus. Les outils de mesure « objectifs » et standardisés, qui supposent une uniformité dans l'expérience affective, pourraient s'avérer limités s'ils sont utilisés de manière isolée (e.g. mesures physiologiques, suivi comportemental, détection d'expressions faciales). Il ne s'agit pas d'abandonner ces outils qui offrent des informations utiles, mais de reconsidérer leur statut et leur usage. Dans une perspective constructiviste, les méthodes auto-rapportées auraient une place centrale et permettraient aux individus de décrire eux-mêmes leur vécu affectif[17]. Des outils comme les échelles subjectives ou les journaux de bord offrent un accès direct et incontournable à cette subjectivité, souvent invisible aux mesures objectives (Barrett & Westlin, 2016).

En complément, une approche multimodale permettrait d'enrichir ces mesures auto-rapportées. Par exemple, des marqueurs physiologiques du SNA ou de l'axe HHS, tels que ceux employés dans nos études, peuvent renseigner sur l'ajustement des systèmes biologiques pour assurer l'adaptation des individus (Juster et al., 2010). Cependant, ces données ne doivent pas être considérées comme des substituts aux auto-évaluations (Alfano et al., 2018; Barrett & Westlin, 2016). En effet, de nombreux travaux suggèrent que les mesures physiologiques ne coïncident pas nécessairement avec les expériences subjectives (Barrett et al., 2019; Siegel et al., 2018).

[17] Sous réserve que les principes d'honnêteté et de confidentialité soient respectés.

Par exemple, en contexte analogue à l'espace, des discordances ont été observées entre le cortisol salivaire et le stress perçu (Groemer et al., 2010).

Ainsi, il s'agit de promouvoir une méthodologie intégrative, dans laquelle les mesures physiologiques et comportementales viennent soutenir les auto-rapports, et non les remplacer. Les données subjectives resteraient la source principale d'information sur l'état psychologique, tandis que les autres indicateurs pourraient les compléter ou les contextualiser.

Le paradigme constructiviste invite également à dépasser les approches standardisées et uniformes pour aller vers un accompagnement individualisé des personnes. Cette théorie soutient l'idée que chaque individu a une expérience affective unique, influencée par de nombreux facteurs (e.g. expériences, ressources, contextes ; Zachar, 2022). Cela incite à concevoir des techniques de suivi sur-mesure, adaptées spécifiquement à chaque individu, plutôt que d'appliquer les mêmes méthodes à l'ensemble de l'équipage. Concrètement, un tel suivi pourrait inclure l'élaboration de profils personnalisés en amont de la mission, intégrant les préférences d'expression affective (e.g. applications mobiles de suivi affectif, journaux numériques, capteurs portables ajustés aux préférences des sujets), les stratégies de coping habituelles, ou encore la sensibilité au stress. Pendant la mission, il serait aussi pertinent de recourir à des analyses intra-individuelles, centrées sur les dynamiques propres à chaque personne (établies avant la mission), plutôt que de se limiter à des comparaisons interindividuelles ou à des normes. Le recours à des algorithmes d'apprentissage automatique, combinés à une approche multimodale, pourrait permettre d'identifier des schémas spécifiques à chaque individu. Une telle approche favoriserait une détection plus fine des signaux de désadaptation, et offrirait un soutien plus réactif et sur-mesure pour les personnes.

Cette individualisation du suivi psychologique soulève néanmoins des enjeux éthiques qu'il convient d'anticiper. Le recours à des outils numériques, à des profils psychologiques détaillés, et à des analyses algorithmiques implique la collecte, le traitement et l'interprétation d'un

volume important de données personnelles, souvent sensibles. Dans ce contexte, se pose la question du respect de la vie privée des individus. En conditions spatiales, la frontière entre soutien psychologique et surveillance peut devenir floue, en particulier si les données sont accessibles aux équipes au sol ou aux commandants de mission. Cette transparence, bien qu'elle puisse renforcer le dispositif de soutien, risque d'engendrer chez les individus un sentiment d'intrusion, voire de contrôle permanent, susceptible d'altérer la relation de confiance nécessaire au suivi. Il est donc impératif d'adopter des garanties strictes de confidentialité, de définir explicitement les modalités d'accès, d'usage et de conservation des données, et d'assurer la transparence du dispositif auprès des individus suivis. Le recours à des technologies d'analyse fine de l'affect pose également la question du consentement éclairé : les sujets doivent être pleinement informés de la nature du suivi, de ses implications, et pouvoir en refuser partiellement ou totalement l'usage. Ils doivent conserver leur droit à une vie privée, pouvoir désactiver temporairement les dispositifs de mesure, et bénéficier d'espaces de « non-mesure ». Ainsi, si l'individualisation du suivi affectif vise à mieux accompagner les spationautes, elle doit impérativement s'accompagner d'une réflexion éthique minutieuse. Ces précautions doivent toutefois rester compatibles avec les impératifs de sécurité de l'équipage et le bon déroulement de la mission, qui demeurent prioritaires en contexte spatial. Dans certaines situations critiques (e.g., atteinte à la santé ou à la sécurité de l'équipage), un accès encadré aux données psychologiques pourrait être justifié.

Enfin, adopter une approche constructiviste implique de reconnaître que, malgré les mesures préventives, la préparation intensive, et l'entraînement des individus, les fluctuations affectives restent difficiles à anticiper et à contrôler lors de missions spatiales prolongées. Ces fluctuations peuvent survenir chez tous les spationautes en raison d'une multitude de facteurs, qu'il s'agisse de mécanismes individuels, de la dynamique de groupe ou d'éléments issus de l'environnement. Ainsi, bien que les recherches indiquent que la plupart des spationautes

s'adaptent « positivement » aux conditions spatiales, cela ne signifie pas que tous vivent cette situation de la même manière. Face à des conditions similaires, certains peuvent ressentir un sentiment d'émerveillement et de sérénité, mais d'autres peuvent s'adapter en présentant des signes d'anxiété ou de stress (comme le sujet B de la mission SIRIUS-21).

En conclusion, la variabilité individuelle, plutôt que la tendance générale, semble être la norme en ce qui concerne l'adaptation psychologique aux conditions spatiales et analogues. Dans cette perspective, les différences interindividuelles ne sont pas des anomalies à neutraliser statistiquement, mais des expressions fondamentales de la manière dont chaque individu construit et régule ses états affectifs. La reconnaissance de cette variabilité remet en question notre compréhension traditionnelle des réponses affectives dans ces environnements. Au lieu de rechercher uniquement des tendances générales, elle nous incite à adopter une approche plus individualisée, reconnaissant que chaque individu apporte une richesse d'expériences et de perspectives qui influenceront son adaptation affective.

C. Synthèse : vers un modèle intégratif de l'adaptation affective

Dans ce chapitre, nous avons soutenu que l'approche constructiviste constitue un cadre conceptuel pertinent à utiliser dans notre champ de recherche. Nous proposons à présent une synthèse de nos réflexions, avant d'introduire un modèle intégratif fondé sur ces considérations théoriques.

Le constructivisme considère les états affectifs comme des phénomènes psychologiques façonnés par l'expérience plutôt que comme des réponses innées et universelles (Zachar, 2022). Appliqué à la psychologie spatiale, il permet d'envisager aussi l'adaptation psychologique comme un processus construit, issu de l'interaction dynamique entre l'individu et son milieu (Barrett & Westlin, 2016). Ainsi, loin de se réduire à une simple résistance au stress ou à un

retour vers un équilibre préétabli, l'adaptation correspond à un ajustement constant à une situation, où chaque individu interprète et réagit aux signaux internes et externes selon son expérience, ses ressources et le contexte bio-psycho-social dans lequel il évolue (Palinkas et al., 2010). Par conséquent, les états affectifs rapportés en mission, qu'ils soient positifs, neutres ou négatifs, résultent de la manière dont chaque personne construit et donne du sens à une situation. L'équipage ne doit donc pas être envisagé comme un groupe homogène confronté de façon identique aux mêmes contraintes, mais comme un ensemble variable de trajectoires d'adaptation singulières (Basner et al., 2014; Poláčková Šolcová et al., 2014). Les différences inter- et intra-individuelles observées dans nos études ne reflètent pas une anomalie méthodologique ; elles sont la signature d'un processus d'adaptation dynamique, idiosyncrasique et contextuel, nourri par des boucles de rétroaction continues entre l'individu et son environnement (physique et social) (Le Roy et al., 2023).

Par ailleurs, dans un cadre constructiviste, l'adaptation ne correspond pas à un état de stabilité absolue, mais à la capacité de maintenir une cohérence fonctionnelle au sein d'un système complexe et changeant. Ce point de vue conduit à reconsidérer la notion même de "bonne adaptation" : il ne s'agit plus d'un état figé ou universellement optimal, mais d'un équilibre dynamique propre à chaque individu, modulé par les facteurs individuels, sociaux, contextuels, et les ressources disponibles (Epel et al., 2018; Palinkas et al., 2010).

Enfin, une telle perspective invite à dépasser l'opposition traditionnelle entre les dimensions dites "subjectives" et "objectives" de l'expérience affective. Dans une approche constructiviste, ces deux registres ne s'opposent pas, mais constituent des manifestations complémentaires d'un même processus d'adaptation (Crosswell & Lockwood, 2020; Zhang et al., 2017). Cette lecture permet aussi d'éclairer les écarts parfois observés entre indicateurs subjectifs et objectifs : leur désynchronisation ne traduit pas une incohérence, mais témoigne de la complexité et de la pluralité des réponses humaines (Barrett & Westlin, 2016).

En somme, l'approche constructiviste nous invite à dépasser la recherche d'un modèle universel de la réponse humaine en environnement extrême. Elle propose de concevoir l'adaptation psycho-affective comme une dynamique idiosyncrasique, évolutive, sensible au contexte et aux caractéristiques personnelles.

Sur la base de ces considérations théoriques et de nos résultats empiriques, nous clôturons nos réflexions en proposant un modèle bidimensionnel et dynamique de l'adaptation affective dans les environnements spatiaux et analogues (intitulé « ADAPT-2D » ; pour une représentation visuelle, voir Figure 15). Ce modèle descriptif vise à rendre compte de la diversité des réponses affectives dans ces contextes. Il repose sur deux dimensions complémentaires de l'expérience humaine : la « charge subjective » (i.e. le degré de perturbation subjective) reflétant le ressenti de l'individu, la perception consciente de son état psychologique (e.g. états affectifs, stress perçu, fatigue, bien-être) ; et la « charge objective » (i.e. le degré de modifications physiologiques, cognitives ou comportementales) reflétant des ajustements corporels et fonctionnels objectivables (e.g. variations du cortisol, du sommeil, de la performance cognitive, du comportement). Ces deux axes ne représentent pas des entités indépendantes, mais deux modalités d'expression d'un même processus d'adaptation. L'articulation de ces deux continuums permet de situer chaque individu dans un espace bidimensionnel où peuvent se manifester différentes formes d'adaptation au cours du temps. Ainsi, quatre zones peuvent être identifiées :

(1) Régulation optimale : Faible charge subjective et faible charge objective. Cet état traduit un niveau d'adaptation optimal. L'individu parvient à maintenir un bien-être subjectif sans sollicitation excessive de ses ressources internes. Cet état illustre une forme d'équilibre dynamique plutôt qu'un point de stabilité fixe.

(2) Adaptation active : Faible charge subjective et charge objective élevée. Ce profil suggère une mobilisation accrue des ressources internes (e.g. physiologiques,

psychologiques) mais avec un équilibre psychologique préservé.

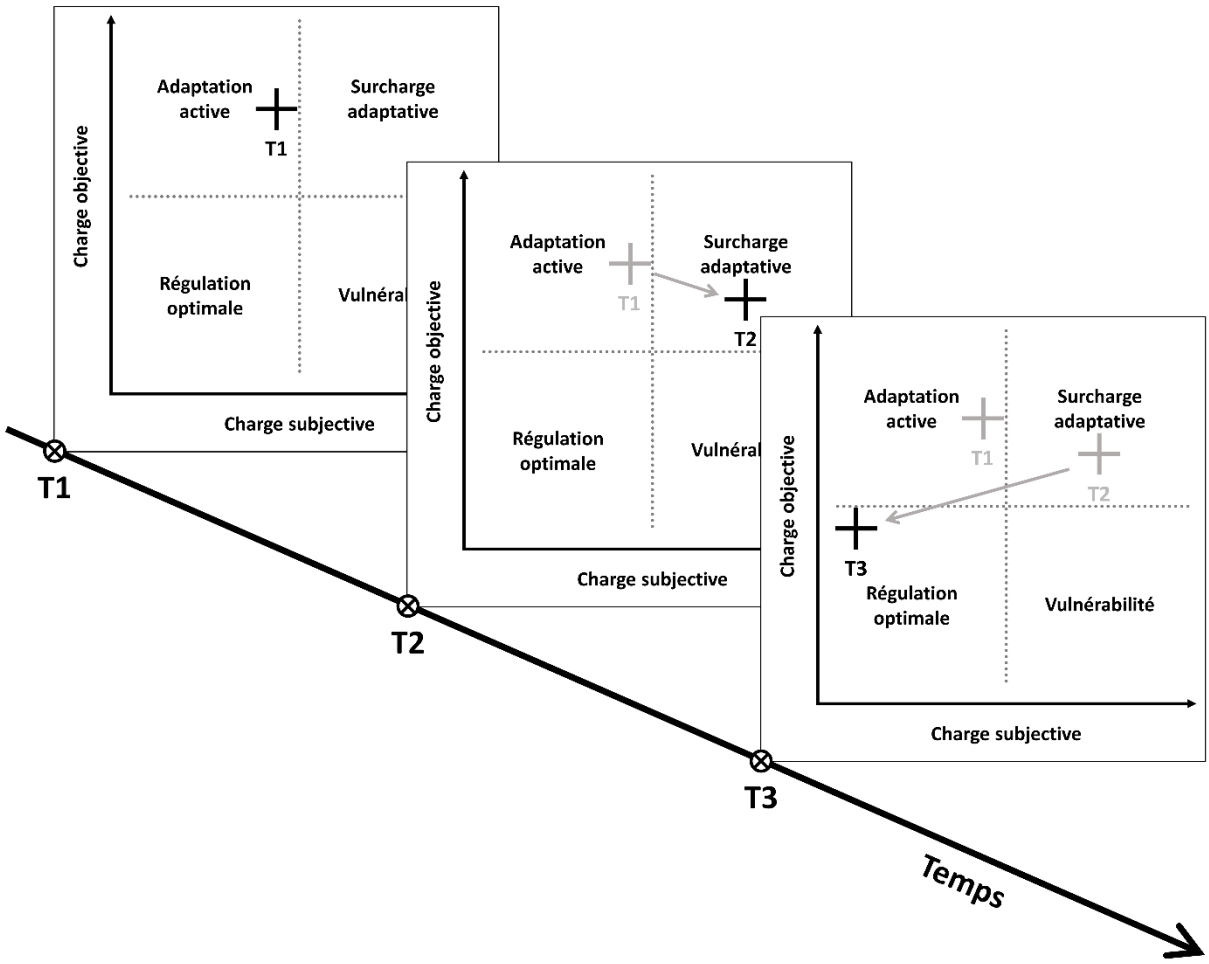
(3) Vulnérabilité : Charge subjective élevée et faible charge objective. Cette configuration renvoie à une fragilité ou à une contrainte psychologique perçue, mais les capacités fonctionnelles sont préservées.

(4) Surcharge adaptative : Charge subjective et charge objective élevées. Cette configuration reflète un état de déséquilibre, où les ressources destinées à l'adaptation sont sur-sollicitées. En se prolongeant, cet état pourrait mener à un épuisement de l'individu et entraîner des troubles bio-psycho-sociaux (Juster et al., 2010; Selye, 1956).

Ces quatre « zones » du modèle ADAPT-2D ne sont pas des catégories fixes, stables ou étanches. Elles constituent plutôt des tendances graduelles, dynamiques et transitoires parmi lesquelles les personnes évoluent au fil du temps. Un même individu peut évoluer dans cet espace au fil de la mission, en fonction de l'environnement, des évènements, des relations interpersonnelles ou de ses caractéristiques individuelles (Palinkas et al., 2010). Par exemple, il peut d'abord passer par une phase d'adaptation active, puis par une phase de surcharge adaptative, et ensuite retrouver un état de régulation optimale (voir Figure 14). Le modèle met ainsi en évidence la dimension évolutive/temporelle et idiosyncrasique de l'adaptation affective.

Cette approche offre une lecture intégrative de l'adaptation affective. Elle reconnaît que les dimensions subjectives et objectives ne se superposent pas nécessairement de manière linéaire, mais qu'elles participent ensemble à la régulation du système psychobiologique. Une telle perspective permet également de concevoir la variabilité inter- et intra-individuelle non comme un artefact, mais comme une propriété fondamentale de l'adaptation humaine.

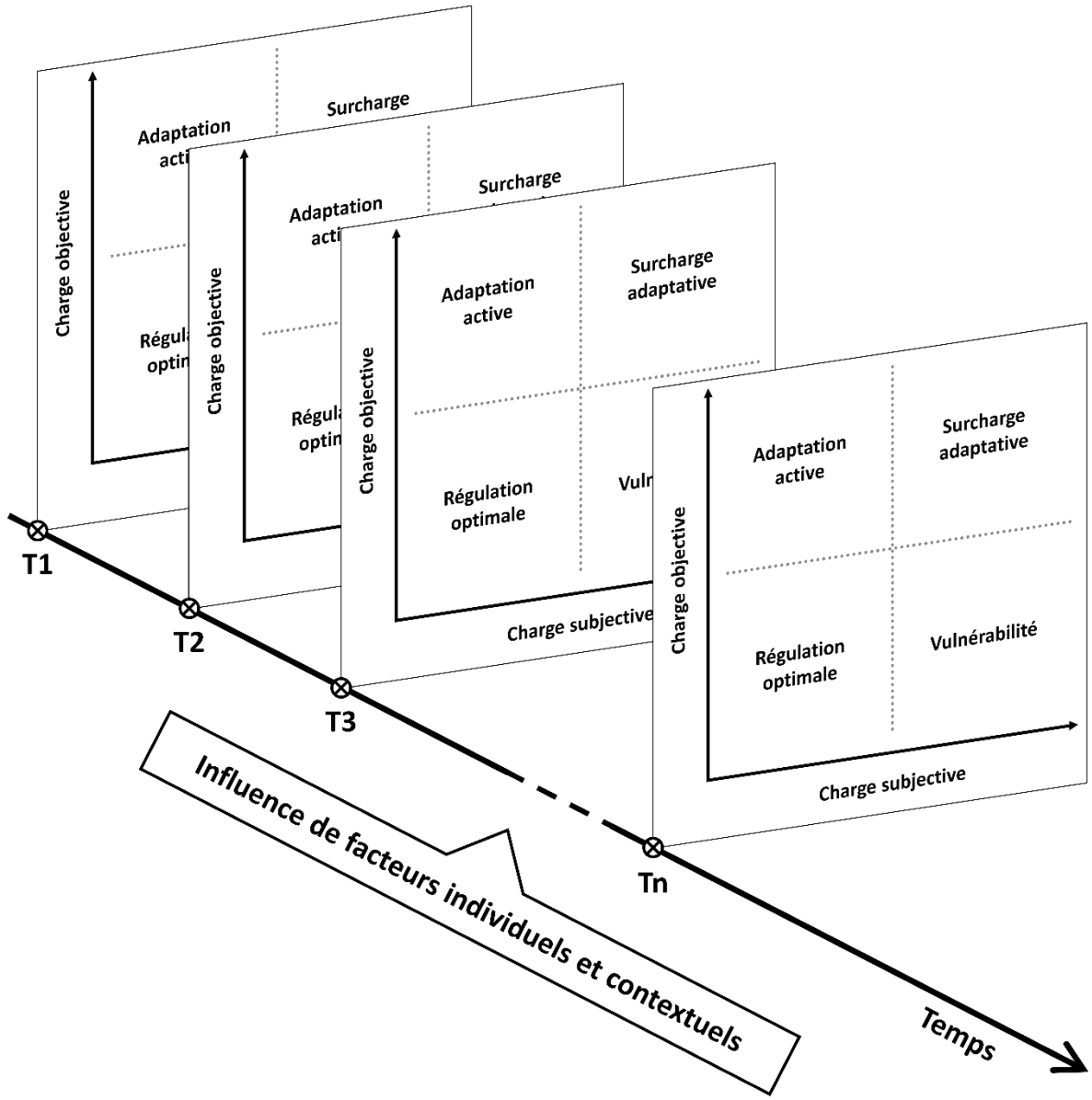
Figure 14 : Exemple d'évolution de l'adaptation psycho-affective au cours du temps



Exemple d'évolution de l'adaptation psycho-affective à trois moments (T) distincts.

Ainsi, le modèle ADAPT-2D (que nous avons représenté visuellement dans la Figure 15) n'a pas vocation à décrire les mécanismes causaux ou les processus neuropsychologiques sous-jacents à l'adaptation affective. Il offre plutôt une grille de lecture, un cadre descriptif et interprétatif, pour situer les individus au sein d'un continuum de configurations adaptatives. Son objectif n'est pas de classer les personnes, mais de représenter la diversité et la dynamique des ajustements humains en environnement extrême. Il invite à penser l'adaptation comme un processus évolutif de construction et de régulation continues entre l'individu et son contexte.

Figure 15 : Modèle bidimensionnel et dynamique de l'adaptation psycho-affective dans les environnements spatiaux et analogues (« ADAPT-2D »)



Représentation du modèle « ADAPT-2D » qui décrit l'adaptation psycho-affective à travers deux dimensions ou continuums (charge subjective et charge objective). Cette adaptation est façonnée par des facteurs individuels et contextuels qui vont également influencer son évolution au cours du temps. (T = Temps ; T1 = Temps 1).

Afin de prolonger ces réflexions, nous avons tenté de situer les différents participants de la mission SIRIUS-21 au sein du modèle ADAPT-2D (voir Annexe 6). Cette mise en perspective vise à montrer comment les profils d'adaptation individuels observés empiriquement peuvent s'interpréter à la lumière de ce modèle. En croisant les indicateurs subjectifs et objectifs, il est possible de positionner chaque individu dans l'espace défini par les axes de « charge subjective » et de « charge objective », et d'examiner leurs évolutions au fil de la mission. Une telle mise en perspective permet d'appréhender plus finement la diversité des trajectoires individuelles d'adaptation observées au cours de la mission. Toutefois, cette démarche doit être considérée comme une tentative exploratoire et non comme un positionnement absolu ou définitif des individus dans le modèle. En l'état, nous ne pouvons pas déterminer précisément la localisation de chaque participant, car cela nécessiterait un ensemble de données plus exhaustif et plus fin sur leur adaptation affective tout au long de la mission. Par ailleurs, bien que ce modèle adopte une perspective individualisée, les informations disponibles concernant l'état de base des participants (i.e. avant la mission, dans un contexte non confiné) sont insuffisantes pour situer de façon rigoureuse leurs trajectoires par rapport à un point de référence stable. Cette analyse doit ainsi être considérée comme une première illustration du potentiel du modèle, qui gagnerait à être approfondie par des mesures longitudinales plus étendues et mieux synchronisées.

Nous n'avons pas appliqué cette démarche aux sujets de la mission SIRIUS-19, car les données physiologiques disponibles ne présentaient pas une temporalité comparable aux mesures auto-rapportées. L'absence de synchronisation aurait limité la pertinence et la cohérence de l'analyse dans le modèle ADAPT-2D.

En définitive, le modèle ADAPT-2D pourrait constituer un cadre de référence utile pour la recherche et la pratique en environnement extrême. Il offre une base de réflexion permettant de mieux saisir la dynamique et la diversité des réponses humaines aux conditions environnementales ou contextuelles. En articulant les dimensions subjectives et objectives de l'adaptation, il encourage le développement de protocoles de suivi psychologique multimodal, intégrant des indicateurs hétérogènes (e.g. physiologiques, cognitifs, comportementaux) pour mieux comprendre les trajectoires d'adaptation. Mais ce cadre reste ouvert et n'a pas vocation à être figé : il peut être amené à évoluer, notamment par l'intégration de nouvelles dimensions susceptibles d'enrichir la compréhension des processus adaptatifs. Enfin, le modèle ADAPT-2D ouvre également des perspectives appliquées pour la prévention et l'accompagnement des individus exposés à des conditions extrêmes, en favorisant une approche plus individualisée et dynamique de la prise en charge psychologique.

III. Limites

Nous allons examiner plusieurs limitations de nos recherches.

A. Limites spécifiques à l'expérimentation 1

En raison de problèmes techniques, les données de HCL de la première session ont été exclues de cette étude, limitant ainsi la comparaison aux valeurs de référence. Malgré la tendance intéressante observée dans les données, nos résultats doivent donc être interprétés avec prudence. Toutefois, ces valeurs de HCL fournissent des données préliminaires qui peuvent orienter les recherches futures. A l'avenir, pour remédier à l'absence de données de référence exploitables, il pourrait être utile de prévoir plusieurs mesures de base avant le début du confinement, afin de mieux caractériser les niveaux de référence et la variabilité initiale des participants. Par ailleurs, la constitution d'une base de données multicentrique regroupant des mesures de cortisol capillaire issues de différents contextes analogues permettrait d'établir des valeurs de référence plus solides et comparables.

Dans notre étude, nous avons recueilli à la fois des données psychométriques et des mesures de HCL, mais nous n'avons pas pu les associer en raison de différences d'échelles temporelles (mensuelles versus instantanées) et de limitations des données (valeurs manquantes, taille d'échantillon réduite). Initialement, nous avions prévu d'inclure des mesures physiologiques plus adaptées pour établir des relations avec les paramètres psychométriques (e.g. activité cardiaque, conductance électrodermale). Ces indicateurs, plus sensibles aux variations affectives à court terme, auraient permis une comparaison temporelle plus fine avec les données subjectives. Cependant, des dysfonctionnements techniques liés au matériel de mesure et à des erreurs de manipulation de la part des sujets ont compromis la qualité des

enregistrements, rendant leur exploitation impossible. Cette limitation a restreint la possibilité d'associer plus étroitement mesures subjectives et objectives dans notre étude.

B. Limites spécifiques à l'expérimentation 2

Les profils d'adaptation individuels proposés à partir de nos données doivent être interprétés avec prudence. Ils ne constituent pas des catégories rigides ou mutuellement exclusives, mais plutôt des tendances individuelles discrètes. Les différences entre participants sont parfois subtiles et s'inscrivent probablement sur un continuum d'adaptation psychologique, plutôt que dans des classes distinctes. Les variations entre participants ne sont donc ni absolues ni nécessairement stables dans le temps, et peuvent refléter des variations transitoires ou contextuelles. En l'absence d'analyses statistiques inférentielles, et compte tenu de la taille réduite de l'échantillon, ces profils doivent être considérés comme des tendances exploratoires/préliminaires, plutôt que comme des entités généralisables. Ils offrent néanmoins une grille de lecture pour penser la diversité des réponses humaines dans des environnements extrêmes, et pourront être affinés, confirmés ou remis en question par des recherches ultérieures.

Les conditions expérimentales sont difficiles à contrôler ou à standardiser lors des missions analogues. Par exemple, la collecte des données n'a pas toujours eu lieu à la même heure de la journée, et nous n'avons pas pu contrôler les activités physiques réalisées avant l'expérimentation. Cela a pu introduire de la variabilité dans nos mesures électrophysiologiques (ECG et AED).

Les mesures cognitives n'ont pas été utilisées pour établir les différents profils d'adaptation. Pourtant, des variations individuelles ont été relevées dans les performances, surtout chez le sujet A. Celui-ci présentait régulièrement un indice d'inhibition plus élevé que

les autres tout au long de la mission, ainsi que des fluctuations de la qualité de performance pendant la seconde moitié de la mission. Toutefois, ces modifications de performance ne semblent pas associées à des changements affectifs : ni les mesures subjectives ni les mesures physiologiques n'ont suggéré des variations affectives correspondantes chez ce participant. Nous ne sommes donc pas en mesure de déterminer précisément l'origine de ces variations cognitives, mais il paraît peu probable qu'elles soient liées aux états affectifs.

Au jour de mission MD32, le sixième membre de l'équipage a subi une blessure et a dû être extrait du confinement. Cela a eu pour effet de réduire l'effectif du groupe à 5 personnes. Aucune modification de nos données ne semble toutefois être liée à cet événement. D'autres événements majeurs se sont produits pendant la mission, notamment le déclenchement du conflit russo-ukrainien ainsi qu'un épisode conflictuel transitoire avec le personnel extérieur à la station. Bien que ces événements aient pu constituer des sources de tension ou de stress, nos données ne montrent pas de variations affectives manifestes en lien direct avec ces incidents. Ce constat pourrait s'expliquer par la résilience individuelle et collective, mais il est aussi possible que des effets subtils ou différés aient échappé à nos outils ou au calendrier de nos évaluations.

C. Les limites des environnements analogues

Nos recherches se sont effectuées dans le cadre de missions de simulation qui utilisent le modèle du confinement pour reproduire certains facteurs de stress d'une mission spatiale de longue durée. Ce type de contexte ne simule que partiellement les conditions spatiales réelles. Certains stresseurs comme la microgravité, les rayonnements cosmiques ionisants, les dangers, les risques sanitaires, ou encore la distance par rapport aux secours, n'ont pas pu être reproduits. Il est probable que ces facteurs de stress que nous n'avons pas étudié ici peuvent également

perturber l'adaptation psychologique des spationautes. Il est aussi envisageable que l'exposition prolongée à des environnements spatiaux réels induise un « effet cocktail ». Dans la mesure où les impacts de ces stresseurs s'additionneraient entre eux, ils pourraient exercer une contrainte nouvelle qui serait plus que la simple somme des effets individuels.

Par ailleurs, le caractère non authentique/artificiel de la mission a pu influencer la perception que les individus ont de leurs conditions. En effet, l'environnement physique n'est pas le seul responsable des changements psychologiques. L'interprétation que les individus font de leur environnement joue aussi un rôle crucial dans leur adaptation psychologique (Rosnet et al., 1998; Suedfeld, 1991). Par exemple, Sandal et coll. (1996), ont démontré que les missions analogues dans des environnements présentant plus de dangers (environnements polaires) induisaient plus de troubles affectifs que celles dans des environnements moins isolés et plus sécurisés. De même, dans une étude de Nicolas et coll. (2021), le contrôle perçu sur l'environnement a une influence sur l'adaptation psychologique en environnement analogue au spatial. Les conditions de nos recherches ne reproduisaient pas pleinement les exigences des véritables missions spatiales. Ainsi, les participants ne pouvaient pas appréhender leur situation comme s'ils étaient réellement en voyage spatial de longue durée.

Enfin, la subjectivité intrinsèque des états affectifs rend toute généralisation de nos résultats délicate. Les ressentis et réactions affectives sont profondément personnels et peuvent varier significativement d'un individu à l'autre face à des conditions similaires (Galatzer-Levy & Bonanno, 2012). En conséquence, il serait hasardeux d'affirmer que nos résultats seraient systématiquement reproduits lors de futures missions spatiales longues. Chaque mission est unique en termes d'objectifs, de défis, de contexte, mais aussi d'équipage, rendant ainsi toute comparaison ou généralisation complexe.

Pour ces multiples raisons, les environnements analogues ne reflètent pas entièrement les conditions spatiales réelles. Les résultats obtenus dans ces contextes doivent donc être

appréhendés avec prudence. Néanmoins, ils constituent un modèle complémentaire et scientifiquement pertinent pour étudier les réponses humaines à des situations prolongées de confinement et d'isolement (Le Roy et al., 2023). Ils contribuent ainsi à la préparation des missions spatiales réelles.

D. Les limites statistiques

Dans notre étude, plusieurs limites statistiques doivent être considérées. Tout d'abord, comme dans la plupart des études liées aux facteurs humains en conditions extrêmes, la taille de nos échantillons était limitée (SIRIUS-19 : six sujets, SIRIUS-21 : cinq sujets). Des groupes aussi réduits d'individus ne permettent pas de réaliser des analyses statistiques inférentielles robustes. Par conséquent, nous avons dû nous restreindre à l'utilisation de statistiques descriptives et à l'examen des valeurs individuelles.

Une autre limite notable est que les participants ont effectué le protocole de manière autonome, sans la supervision d'un expérimentateur. Cette autonomie peut avoir introduit divers biais et perturbations dans nos données (e.g. valeurs manquantes), affectant ainsi la fiabilité et la validité de nos résultats.

Pour surmonter certaines de ces limites statistiques, les chercheurs dans le domaine de la psychologie spatiale pourraient adopter des méthodologies d'évaluation communes. Une telle standardisation permettrait de constituer des ensembles de données plus grands et homogènes, provenant de différentes missions. En conséquence, cela faciliterait des analyses statistiques plus précises et fiables, ouvrant la voie à des conclusions plus solides et extrapolables à une population plus large. Dans cette optique, une initiative européenne propose une standardisation des mesures dans la recherche psychologique en conditions spatiales et analogues (Van Ombergen et al., 2022).

E. Les facteurs confondants

Nos recherches souffrent du manque de contrôle de certains facteurs confondants qui auraient pu influencer nos résultats. En raison de contraintes logistiques et du temps limité dédié à la collecte des données, nous n'avons pas pu inclure de mesures supplémentaires. Nos protocoles devaient rester concis pour s'adapter au temps restreint disponible. Dans cette section nous explorerons plusieurs de ces facteurs qui nous semblent pertinents à considérer lorsqu'il s'agit d'évaluer les états affectifs.

Dans nos études, nous n'avons pas considéré l'influence d'éléments contextuels (par exemple : événements inattendus, sorties extravéhiculaires, dynamiques sociales à bord, état médical). Pourtant, selon l'approche constructiviste, les processus affectifs sont construits à partir des interactions entre les individus et leur environnement (Barrett, 2022). Ils sont donc étroitement liés à leur contexte d'apparition. Par exemple, les conditions spatiales et analogues sont connues pour favoriser les troubles du sommeil (e.g. insomnie, réduction qualitative et quantitative du sommeil, fatigue diurne ; Arendt, 2012; Barger et al., 2014; Basner et al., 2013; Gonfalone, 2018; Mallis & DeRoshia, 2005), lesquels peuvent entraîner des modifications comportementales, affectives et cognitives (Babson & Feldner, 2015; Fairholme & Manber, 2015; Lenneis et al., 2023), notamment lors de missions spatiales ou analogues (Basner et al., 2014; Gemignani et al., 2014; Jones et al., 2022; Nasrini et al., 2020). Par conséquent, évaluer les états affectifs nécessite une approche nuancée qui tient compte du cadre dans lequel ces états se manifestent (Greenaway et al., 2018). Ainsi, les futures recherches en conditions spatiales et analogues pourraient prendre en compte des aspects sociaux (e.g. relations interpersonnelles), biomédicaux (e.g. maladies, sommeil), et opérationnels pour mieux comprendre l'adaptation psychologique des individus.

Enfin, le suivi des états affectifs ne peut se limiter au contrôle des facteurs contextuels. Dans une approche constructiviste, il est recommandé de considérer également les aspects dispositionnels des individus (Barrett, 2017b). Ces éléments incluent des dimensions variées telles que leurs habitudes de vie, leur rythme de vie, leur histoire, leur développement psycho-physiologique, ou encore des traits caractéristiques de leur personnalité[18] (e.g. optimisme, résilience). Dans le contexte spatial et analogue, l'interaction entre ces éléments dispositionnels et le contexte peut jouer un rôle clé dans la manière dont les personnes vivent et gèrent leurs états affectifs (Palinkas et al., 2010).

Ainsi, pour réaliser une évaluation précise des états affectifs, les chercheurs pourraient utiliser une approche multifactorielle englobant à la fois les dimensions contextuelles et dispositionnelles des individus. La prise en compte de ces variables contribuerait à identifier des profils de vulnérabilité ou de résilience, facilitant ainsi la mise en place de stratégies de soutien plus ciblées.

[18] Toutefois, ces éléments ne sont pas statiques ou définitifs. Par exemple, la conception de la personnalité en tant qu'objet fixe et persistant est un sujet débattu dans la littérature scientifique (Chater, 2018). Plusieurs études ont démontré que les traits de personnalité, bien que relativement stables, peuvent se modifier au fil du temps ou en réponse à des interventions ou des contextes spécifiques (d'Huart et al., 2023; Roberts et al., 2017).

IV. Quelles perspectives pour l'accompagnement affectif en conditions spatiales ?

Les missions spatiales futures, plus longues et éloignées, posent de nouveaux défis pour le suivi des états affectifs. Nous pouvons évoquer plusieurs obstacles qui restent à surmonter afin de garantir un accompagnement efficace des spationautes. Le premier concerne l'influence des stéréotypes. Les spationautes, souvent perçus comme des figures « héroïques », peuvent être freinés dans l'expression de leurs affects par crainte de la stigmatisation ou de répercussions sur leur rôle au sein de la mission, voire sur leur participation à de futures missions (Alfano et al., 2018; Poláčková Šolcová et al., 2014). Il serait intéressant d'examiner dans quelle mesure les programmes actuels d'entraînement incluent la reconnaissance et la communication des états affectifs, et d'envisager, le cas échéant, d'y intégrer des modules de psychoéducation, d'auto-observation ou de débriefing. Un deuxième obstacle est lié à l'éloignement de la Terre. Les délais de communication (e.g. de 4 à 24 minutes pour Mars ; Ormston, 2012), rendent impossible une supervision en temps réel depuis la Terre et limitent l'assistance psychologique directe. Ces contraintes incitent à développer des dispositifs de suivi autonomes, associant auto-évaluations, capteurs embarqués et analyses automatisées. Enfin, un troisième défi réside dans l'adaptation des méthodes d'évaluation aux conditions spécifiques de l'espace. Les outils utilisés sur Terre ne sont pas toujours conçus pour tenir compte de facteurs tels que la diversité culturelle des équipages, les effets physiologiques du vol spatial ou l'absence de cycles circadiens naturels (Barratt et al., 2020; Chan & Debono, 2010; Mesquita et al., 2016; Patel et al., 2020). L'enjeu est donc de concevoir et de valider des approches spécifiquement adaptées aux environnements spatiaux, afin d'améliorer la pertinence et la fiabilité du suivi affectif.

Enfin, au-delà de l'évaluation, la régulation des états affectifs constitue aussi un enjeu important pour la réussite des missions. Malgré les précautions mises en place, des variations

affectives peuvent survenir et nécessiter d'être prises en charge. Plusieurs approches ont déjà été testées en conditions spatiales ou analogues, comme les technologies immersives (Le Roy et al., 2023), l'activité physique (Martin-Krumm et al., 2021; Schneider et al., 2010), le biofeedback (Lehrer & Gevirtz, 2014) ou des approches psychothérapeutiques (Rose et al., 2013). Leur intérêt réside dans le fait qu'elles peuvent être réalisées en autonomie. Mais, comme pour l'évaluation, ces démarches de régulation sont influencées par leur cadre théorique. Par exemple, l'approche classique des émotions distingue les processus de génération et de régulation des affects, alors que les théories constructivistes les envisagent comme indissociables. Ces divergences ne sont pas seulement conceptuelles, elles orientent à nouveau directement les méthodes proposées (Gross & Feldman Barrett, 2011). Ainsi, comme pour la mesure des états affectifs, nous suggérons que les recherches sur leur régulation en milieu spatial ou analogue soient sensibles à leur cadre conceptuel.

Références bibliographiques

Ababkov, V. A., Barisnikov, K., University of Geneva, Vorontzova-Wenger, O. V., University of Geneva, Gorbunov, I. A., St. Petersburg State University, Kapranova, S. V., St. Petersburg State University, Pologaeva, E. A., St. Petersburg State University, Stuklov, K. A., & St. Petersburg State University. (2016). Validation of the Russian version of the questionnaire “Scale of perceived stress–10”. *Vestnik of Saint Petersburg University. Series 16. Psychology. Education*, *2*, 6-15. https://doi.org/10.21638/11701/spbu16.2016.202

Alfano, C. A., Bower, J. L., Cowie, J., Lau, S., & Simpson, R. J. (2018). Long-duration space exploration and emotional health : Recommendations for conceptualizing and evaluating risk. *Acta Astronautica*, *142*, 289-299. https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2017.11.009

Antonovsky, A. (1987). *Unraveling the mystery of health : How people manage stress and stay well* (p. xx, 218). Jossey-Bass.

APA Dictionary of Psychology. (s. d.). Consulté 29 juin 2023, à l’adresse https://dictionary.apa.org/

Arendt, J. (2012). Biological Rhythms During Residence in Polar Regions. *Chronobiology International*, *29*(4), 379-394. https://doi.org/10.3109/07420528.2012.668997

Arlt, W., & Stewart, P. M. (2005). Adrenal corticosteroid biosynthesis, metabolism, and action. *Endocrinology and Metabolism Clinics of North America*, *34*(2), 293-313, viii. https://doi.org/10.1016/j.ecl.2005.01.002

Arnold, M. B. (1960). *Emotion and personality*. Columbia University Press.

Arnsten, A. F. T. (2009). Stress signalling pathways that impair prefrontal cortex structure and function. *Nature Reviews Neuroscience*, *10*(6), Article 6. https://doi.org/10.1038/nrn2648

Ayers, S. (1997). The Application of Chaos Theory to Psychology. *Theory & Psychology*, *7*(3), 373-398. https://doi.org/10.1177/0959354397073005

Babson, K. A., & Feldner, M. T. (2015). Chapter 21 - Sleep and Affect : An Integrative Synthesis and Future Directions. In K. A. Babson & M. T. Feldner (Éds.), *Sleep and Affect* (p. 463-483). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417188-6.00021-9

Barger, L. K., Flynn-Evans, E. E., Kubey, A., Walsh, L., Ronda, J. M., Wang, W., Wright, K. P., & Czeisler, C. A. (2014). Prevalence of sleep deficiency and use of hypnotic drugs in astronauts before, during, and after spaceflight : An observational study. *The Lancet Neurology*, *13*(9), 904-912. https://doi.org/10.1016/S1474-4422(14)70122-X

Barratt, M. R., Baker, E. S., & Pool, S. L. (2020). *Principles of Clinical Medicine for Space Flight*. Springer Nature.

Barrett, L. F. (2006). Solving the Emotion Paradox : Categorization and the Experience of Emotion. *Personality and Social Psychology Review*, *10*(1), 20-46. https://doi.org/10.1207/s15327957pspr1001_2

Barrett, L. F. (2012). Emotions are real. *Emotion*, *12*(3), 413-429. https://doi.org/10.1037/a0027555

Barrett, L. F. (2013). Psychological Construction : The Darwinian Approach to the Science of Emotion. *Emotion Review*, *5*(4), 379-389. https://doi.org/10.1177/1754073913489753

Barrett, L. F. (2017a). *How emotions are made : The secret life of the brain* (p. xv, 425). Houghton Mifflin Harcourt.

Barrett, L. F. (2017b). The theory of constructed emotion : An active inference account of interoception and categorization. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *12*(1), 1-23. https://doi.org/10.1093/scan/nsw154

Barrett, L. F. (2022). Context reconsidered : Complex signal ensembles, relational meaning, and population thinking in psychological science. *The American Psychologist*, *77*(8), 894-920. https://doi.org/10.1037/amp0001054

Barrett, L. F., Adolphs, R., Marsella, S., Martinez, A. M., & Pollak, S. D. (2019). Emotional Expressions Reconsidered : Challenges to Inferring Emotion From Human Facial Movements. *Psychological Science in the Public Interest*, *20*(1), 1-68. https://doi.org/10.1177/1529100619832930

Barrett, L. F., & Bliss-Moreau, E. (2009). Chapter 4 Affect as a Psychological Primitive. In *Advances in Experimental Social Psychology* (Vol. 41, p. 167-218). Academic Press. https://doi.org/10.1016/S0065-2601(08)00404-8

Barrett, L. F., Lewis, M., & Haviland-Jones, J. M. (2016). *Handbook of Emotions, Fourth Edition*. Guilford Publications.

Barrett, L. F., Mesquita, B., & Gendron, M. (2011). Context in Emotion Perception. *Current Directions in Psychological Science*, *20*(5), 286-290. https://doi.org/10.1177/0963721411422522

Barrett, L. F., & Westlin, C. (2016). Chapter 2—Navigating the science of emotion. In H. L. Meiselman (Éd.), *Emotion Measurement (Second Edition)* (p. 39-84). Woodhead Publishing. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821124-3.00002-8

Basner, M., Dinges, D. F., Mollicone, D., Ecker, A., Jones, C. W., Hyder, E. C., Antonio, A. D., Savelev, I., Kan, K., Goel, N., Morukov, B. V., & Sutton, J. P. (2013). Mars 520-d

mission simulation reveals protracted crew hypokinesis and alterations of sleep duration and timing. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *110*(7), 2635-2640. https://doi.org/10.1073/pnas.1212646110

Basner, M., Dinges, D. F., Mollicone, D. J., Savelev, I., Ecker, A. J., Di Antonio, A., Jones, C. W., Hyder, E. C., Kan, K., Morukov, B. V., & Sutton, J. P. (2014). Psychological and Behavioral Changes during Confinement in a 520-Day Simulated Interplanetary Mission to Mars. *PLoS ONE*, *9*(3), e93298. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093298

Bechtel, R. B., & Berning, A. (1991). The Third-Quarter Phenomenon : Do People Experience Discomfort After Stress Has Passed? In A. A. Harrison, Y. A. Clearwater, & C. P. McKay (Éds.), *From Antarctica to Outer Space* (p. 261-265). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3012-0_24

Bernard, C. (2023). Brain's Best Kept Secret : Degeneracy. *eNeuro*, *10*(11). https://doi.org/10.1523/ENEURO.0430-23.2023

Berntson, G. G., & Khalsa, S. S. (2021). Neural Circuits of Interoception. *Trends in Neurosciences*, *44*(1), 17-28. https://doi.org/10.1016/j.tins.2020.09.011

Bishop, S. L. (2013). From Earth Analogues to Space : Learning How to Boldly Go. In D. A. Vakoch (Éd.), *On Orbit and Beyond : Psychological Perspectives on Human Spaceflight* (p. 25-50). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-30583-2_2

Bonanno, G. A. (2008). Loss, trauma, and human resilience : Have we underestimated the human capacity to thrive after extremely aversive events? *Psychological Trauma: Theory, Research, Practice, and Policy*, *S*(1), 101-113. https://doi.org/10.1037/1942-9681.S.1.101

Bozinovski, S. (2018). Cognition-emotion primacy debate and Crossbar Adaptive Array in 1980-1982. *Procedia Computer Science*, *145*, 105-111. https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.11.017

Bradley, M. M., & Lang, P. J. (1994). Measuring emotion : The self-assessment manikin and the semantic differential. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, *25*(1), 49-59. https://doi.org/10.1016/0005-7916(94)90063-9

Brooks, S. K., Webster, R. K., Smith, L. E., Woodland, L., Wessely, S., Greenberg, N., & Rubin, G. J. (2020). The psychological impact of quarantine and how to reduce it : Rapid review of the evidence. *The Lancet*, *395*(10227), 912-920. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30460-8

Campbell, J., & Ehlert, U. (2012). Acute psychosocial stress : Does the emotional stress response correspond with physiological responses? *Psychoneuroendocrinology*, *37*(8), 1111-1134. https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2011.12.010

Cannon, W. B. (1915). *Bodily changes in pain, hunger, fear, and rage*. Appleton-Century-Crofts.

CESH. (s. d.). Recette du stress. *CESH / CSHS*. Consulté 5 septembre 2023, à l'adresse https://www.stresshumain.ca/le-stress/comprendre-son-stress/source-du-stress/

Chan, S., & Debono, M. (2010). Review : Replication of cortisol circadian rhythm: new advances in hydrocortisone replacement therapy. *Therapeutic Advances in Endocrinology and Metabolism*, *1*(3), 129-138. https://doi.org/10.1177/2042018810380214

Charmandari, E., Tsigos, C., & Chrousos, G. (2005). Endocrinology of the stress response. *Annual Review of Physiology*, *67*, 259-284. https://doi.org/10.1146/annurev.physiol.67.040403.120816

Chater, N. (2018). *The Mind is Flat : The Illusion of Mental Depth and The Improvised Mind*. Penguin UK.

Choukèr, A., Thiel, M., Baranov, V., Meshkov, D., Kotov, A., Peter, K., Messmer, K., & Christ, F. (2001). Simulated microgravity, psychic stress, and immune cells in men : Observations during 120-day 6° HDT. *Journal of Applied Physiology*, *90*(5), 1736-1743. https://doi.org/10.1152/jappl.2001.90.5.1736

Clark-Polner, E., Johnson, T. D., & Barrett, L. F. (2017). Multivoxel Pattern Analysis Does Not Provide Evidence to Support the Existence of Basic Emotions. *Cerebral Cortex*, *27*(3), 1944-1948. https://doi.org/10.1093/cercor/bhw028

Clément, G. R., Boyle, R. D., George, K. A., Nelson, G. A., Reschke, M. F., Williams, T. J., & Paloski, W. H. (2020). Challenges to the central nervous system during human spaceflight missions to Mars. *Journal of Neurophysiology*, *123*(5), 2037-2063. https://doi.org/10.1152/jn.00476.2019

Cohen, S. (1988). Perceived stress in a probability sample of the United States. In S. Spacapan & S. Oskamp (Éds.), *The social psychology of health.* (1988-98838-002; p. 31-67). Sage Publications, Inc.

Cohen, S., Kamarck, T., & Mermelstein, R. (1983). A Global Measure of Perceived Stress. *Journal of Health and Social Behavior*, *24*(4), 385-396. https://doi.org/10.2307/2136404

Collado, A., Hainaut, J.-P., Monfort, V., & Bolmont, B. (2018). Sensation Seeking and Adaptation in Parabonauts. *Frontiers in Psychology*, *9*. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2018.00296

Colombetti, G., & Harrison, N. A. (2018). *From physiology to experience : Enriching existing conceptions of « arousal » in affective science*. Oxford University Press. https://ore.exeter.ac.uk/repository/handle/10871/30375

Combs, A., & Robertson, R. (Éds.). (2014). *Chaos theory in Psychology and the Life Sciences*. Psychology Press. https://doi.org/10.4324/9781315806280

Coppin, G., & Sander, D. (2016). Theoretical Approaches to Emotion and Its Measurement. In *Emotion measurement*. Elsevier ; Woodhead Publishing.

Crosswell, A. D., & Lockwood, K. G. (2020). Best practices for stress measurement : How to measure psychological stress in health research. *Health Psychology Open*, *7*(2), 2055102920933072. https://doi.org/10.1177/2055102920933072

Damasio, A. R. (2006). *L'Erreur de Descartes : La raison des émotions*. Odile Jacob.

Dan-Glauser, E. S., & Scherer, K. R. (2011). The Geneva affective picture database (GAPED) : A new 730-picture database focusing on valence and normative significance. *Behavior Research Methods*, *43*(2), 468-477. https://doi.org/10.3758/s13428-011-0064-1

Darwin, C. (1859). *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*. John Murray.

Darwin, C. (1872). *The Expression of the Emotions in Man and Animals by Charles Darwin*. Murray.

De la Torre, G. G., Groemer, G., Diaz-Artiles, A., Pattyn, N., Van Cutsem, J., Musilova, M., Kopec, W., Schneider, S., Abeln, V., Larose, T., Ferlazzo, F., Zivi, P., de Carvalho, A., Sandal, G. M., Orzechowski, L., Nicolas, M., Billette de Villemeur, R., Traon, A. P.-L., & Antunes, I. (2024). Space Analogs and Behavioral Health Performance Research review and recommendations checklist from ESA Topical Team. *Npj Microgravity*, *10*(1), 98. https://doi.org/10.1038/s41526-024-00437-w

De La Torre, G. G., van Baarsen, B., Ferlazzo, F., Kanas, N., Weiss, K., Schneider, S., & Whiteley, I. (2012). Future perspectives on space psychology : Recommendations on psychosocial and neurobehavioural aspects of human spaceflight. *Acta Astronautica*, *81*(2), 587-599. https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2012.08.013

Descartes, R. (1649). *Les passions de l'âme*. Vrin.

DeSteno, D., Gross, J. J., & Kubzansky, L. (2013). Affective science and health : The importance of emotion and emotion regulation. *Health Psychology*, *32*(5), 474-486. https://doi.org/10.1037/a0030259

d'Huart, D., Seker, S., Bürgin, D., Birkhölzer, M., Boonmann, C., Schmid, M., & Schmeck, K. (2023). The stability of personality disorders and personality disorder criteria : A systematic review and meta-analysis. *Clinical Psychology Review*, *102*, 102284. https://doi.org/10.1016/j.cpr.2023.102284

Dieleman, G. C., Huizink, A. C., Tulen, J. H. M., Utens, E. M. W. J., Creemers, H. E., van der Ende, J., & Verhulst, F. C. (2015). Alterations in HPA-axis and autonomic nervous system functioning in childhood anxiety disorders point to a chronic stress hypothesis. *Psychoneuroendocrinology*, *51*, 135-150. https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2014.09.002

Dorsey, A., Scherer, E., Eckhoff, R., & Furberg, R. D. (2020). *Measurement of Human Stress : A Multidimensional Approach*. PsyArXiv. https://doi.org/10.31234/osf.io/es2p9

Drake, B. G., Hoffman, S. J., & Beaty, D. W. (2010). Human exploration of Mars, Design Reference Architecture 5.0. *2010 IEEE Aerospace Conference*, 1-24. https://doi.org/10.1109/AERO.2010.5446736

Duchenne, G.-B. (1876). *Mécanisme de la physionomie humaine : Où, Analyse électro-physiologique de l'expression des passions*. J.-B. Baillière.

Dunn Rosenberg, J., Jannasch, A., Binsted, K., & Landry, S. (2022). Biobehavioral and psychosocial stress changes during three 8–12 month spaceflight analog missions with Mars-like conditions of isolation and confinement. *Frontiers in Physiology*, *13*. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2022.898841

Ekman, P. (1984). Expression and the nature of emotion. In *Approaches To Emotion* (Vol. 3, p. 344).

Ekman, P. (1999). Basic emotions. In *Handbook of Cognition and Emotion*. John Wiley & Sons.

Ekman, P., & Rosenberg, E. L. (Éds.). (2005). *What the face reveals : Basic and applied studies of spontaneous expression using the facial action coding system (FACS)* (2nd ed). Oxford University Press.

Elfenbein, H. A., & Ambady, N. (2002). On the universality and cultural specificity of emotion recognition : A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, *128*(2), 203-235. https://doi.org/10.1037/0033-2909.128.2.203

Epel, E. S., Crosswell, A. D., Mayer, S. E., Prather, A. A., Slavich, G. M., Puterman, E., & Mendes, W. B. (2018). More than a feeling : A unified view of stress measurement for

population science. *Frontiers in Neuroendocrinology*, *49*, 146-169. https://doi.org/10.1016/j.yfrne.2018.03.001

Eriksen, B. A., & Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & Psychophysics*, *16*(1), 143-149. https://doi.org/10.3758/BF03203267

Eysenck, M. W., & Derakshan, N. (2011). New perspectives in attentional control theory. *Personality and Individual Differences*, *50*(7), 955-960. https://doi.org/10.1016/j.paid.2010.08.019

Eysenck, M. W., Derakshan, N., Santos, R., & Calvo, M. G. (2007). Anxiety and cognitive performance : Attentional control theory. *Emotion*, *7*(2), 336-353. https://doi.org/10.1037/1528-3542.7.2.336

Faerman, A., Clark, J. B., & Sutton, J. P. (2023). Neuropsychological considerations for long-duration deep spaceflight. *Frontiers in Physiology*, *14*. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2023.1146096

Fairholme, C. P., & Manber, R. (2015). Chapter 3 - Sleep, Emotions, and Emotion Regulation : An Overview. In K. A. Babson & M. T. Feldner (Éds.), *Sleep and Affect* (p. 45-61). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417188-6.00003-7

Fehr, B., & Russell, J. A. (1984). Concept of emotion viewed from a prototype perspective. *Journal of Experimental Psychology: General*, *113*(3), 464-486. https://doi.org/10.1037/0096-3445.113.3.464

Feldman Barrett, L. (2021, octobre 12). *Psychology is in a crisis. But not the one you're thinking of*. BBC Science Focus Magazine. https://www.sciencefocus.com/the-human-body/replication-crisis

Folkman, S., & Moskowitz, J. T. (2000). Positive affect and the other side of coping. *American Psychologist*, *55*, 647-654. https://doi.org/10.1037/0003-066X.55.6.647

Fredrickson, B. L. (2001). The role of positive emotions in positive psychology : The broaden-and-build theory of positive emotions. *American Psychologist*, *56*(3), 218-226. https://doi.org/10.1037/0003-066X.56.3.218

Fredrickson, B. L. (2005). The broaden-and-build theory of positive emotions. In *The science of well-being* (p. 217-238). Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198567523.003.0008

Fridman, J., Barrett, L. F., Wormwood, J. B., & Quigley, K. S. (2019). Applying the Theory of Constructed Emotion to Police Decision Making. *Frontiers in Psychology*, *10*. https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2019.01946

Furlan, R., Barbic, F., Piazza, S., Tinelli, M., Seghizzi, P., & Malliani, A. (2000). Modifications of Cardiac Autonomic Profile Associated With a Shift Schedule of Work. *Circulation*, *102*(16), 1912-1916. https://doi.org/10.1161/01.CIR.102.16.1912

Galatzer-Levy, I. R., & Bonanno, G. A. (2012). Beyond normality in the study of bereavement : Heterogeneity in depression outcomes following loss in older adults. *Social Science & Medicine*, *74*(12), 1987-1994. https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2012.02.022

Gatti, M., Palumbo, R., Domenico, A. D., & Mammarella, N. (2022). Affective health and countermeasures in long-duration space exploration. *Heliyon*, *8*(5). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09414

Gemignani, A., Piarulli, A., Menicucci, D., Laurino, M., Rota, G., Mastorci, F., Gushin, V., Shevchenko, O., Garbella, E., Pingitore, A., Sebastiani, L., Bergamasco, M., L'Abbate, A., Allegrini, P., & Bedini, R. (2014). How stressful are 105days of isolation? Sleep EEG patterns and tonic cortisol in healthy volunteers simulating manned flight to Mars. *International Journal of Psychophysiology*, *93*(2), 211-219. https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2014.04.008

Gendron, M., & Barrett, L. F. (2009). Reconstructing the Past : A Century of Ideas About Emotion in Psychology. *Emotion review*, *1*(4), 316-339. https://doi.org/10.1177/1754073909338877

Gendron, M., Crivelli, C., & Barrett, L. F. (2018). Universality Reconsidered : Diversity in Making Meaning of Facial Expressions. *Current Directions in Psychological Science*, *27*(4), 211-219. https://doi.org/10.1177/0963721417746794

Gendron, M., Roberson, D., van der Vyver, J. M., & Barrett, L. F. (2014a). Perceptions of emotion from facial expressions are not culturally universal : Evidence from a remote culture. *Emotion*, *14*(2), 251-262. https://doi.org/10.1037/a0036052

Gendron, M., Roberson, D., van der Vyver, J. M., & Barrett, L. F. (2014b). Perceptions of emotion from facial expressions are not culturally universal : Evidence from a remote culture. *Emotion*, *14*(2), 251-262. https://doi.org/10.1037/a0036052

Giannakakis, G., Grigoriadis, D., Giannakaki, K., Simantiraki, O., Roniotis, A., & Tsiknakis, M. (2019). Review on psychological stress detection using biosignals. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 1-1. https://doi.org/10.1109/TAFFC.2019.2927337

Gil, S. (2009). *Comment étudier les émotions en laboratoire ? 4*, 10.

Godoy, L. D., Rossignoli, M. T., Delfino-Pereira, P., Garcia-Cairasco, N., & de Lima Umeoka, E. H. (2018). A Comprehensive Overview on Stress Neurobiology : Basic Concepts and

Clinical Implications. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, *12*, 127. https://doi.org/10.3389/fnbeh.2018.00127

Gonfalone, A. A. (2018). Sleep and gravity. *Medical Hypotheses*, *113*, 81-84. https://doi.org/10.1016/j.mehy.2018.02.020

Gow, R., Thomson, S., Rieder, M., Van Uum, S., & Koren, G. (2010). An assessment of cortisol analysis in hair and its clinical applications. *Forensic Science International*, *196*(1), 32-37. https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2009.12.040

Greenaway, K. H., Kalokerinos, E. K., & Williams, L. A. (2018). Context is Everything (in Emotion Research). *Social and Personality Psychology Compass*, *12*(6), e12393. https://doi.org/10.1111/spc3.12393

Groemer, G., Gruber, V., Bishop, S., Peham, D., Wolf, L., & Högl, B. (2010). Human performance data in a high workload environment during the simulated Mars expedition "AustroMars". *Acta Astronautica*, *66*(5), 780-787. https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2009.08.017

Gross, J. J. (2002). Emotion regulation : Affective, cognitive, and social consequences. *Psychophysiology*, *39*(3), 281-291. https://doi.org/10.1017/S0048577201393198

Gross, J. J., & Feldman Barrett, L. (2011). Emotion Generation and Emotion Regulation : One or Two Depends on Your Point of View. *Emotion Review*, *3*(1), 8-16. https://doi.org/10.1177/1754073910380974

Gushin, V. I., Kholin, S. F., & Ivanovsky, Y. R. (1993). Chapter 2 Soviet Psychophysiological Investigations Of Simulated Isolation : Some Results And Prospects. In S. L. Bonting (Éd.), *Advances in Space Biology and Medicine* (Vol. 3, p. 5-14). Elsevier. https://doi.org/10.1016/S1569-2574(08)60093-3

Hao, Z., Zhu, Y., Feng, S., Meng, C., Hu, D., Liu, H., & Liu, H. (2019). Effects of long term isolation on the emotion change of « Lunar Palace 365 » crewmembers. *Science Bulletin*, *64*(13), 881-884. https://doi.org/10.1016/j.scib.2019.05.019

Hartmann, K. (2024). Unlocking the language : Key features of emotions. *Acta Psychologica*, *251*, 104628. https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2024.104628

Headland, R. (1989). *Chronological List of Antarctic Expeditions and Related Historical Events*. Cambridge University Press.

Henrich, J., Heine, S. J., & Norenzayan, A. (2010). The weirdest people in the world? *Behavioral and Brain Sciences*, *33*(2-3), 61-83. https://doi.org/10.1017/S0140525X0999152X

Hewitt, P. L., Flett, G. L., & Mosher, S. W. (1992). The Perceived Stress Scale : Factor structure and relation to depression symptoms in a psychiatric sample. *Journal of Psychopathology and Behavioral Assessment*, *14*(3), 247-257. https://doi.org/10.1007/BF00962631

Ihle, E. C., Ritsher, J. B., & Kanas, N. (2006). Positive Psychological Outcomes of Spaceflight : An Empirical Study. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, *77*(2), 93-101.

Ishizaki, Y., Ishizaki, T., Fukuoka, H., Kim, C.-S., Fujita, M., Maegawa, Y., Fujioka, H., Katsura, T., Suzuki, Y., & Gunji, A. (2002). Changes in mood status and neurotic levels during a 20-day bed rest. *Acta Astronautica*, *50*(7), 453-459. https://doi.org/10.1016/S0094-5765(01)00189-8

Izard, C. E. (1977). *Human Emotions*. Plenum.

Jacoby, R., Barsky, K. G., Porat, T., Harel, S., Miller, T. H., & Goldzweig, G. (2021). Individual stress response patterns : Preliminary findings and possible implications. *PLOS ONE*, *16*(8), e0255889. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255889

Jacubowski, A., Abeln, V., Vogt, T., Yi, B., Choukèr, A., Fomina, E., Strüder, H. K., & Schneider, S. (2015). The impact of long-term confinement and exercise on central and peripheral stress markers. *Physiology & Behavior*, *152*, 106-111. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.09.017

Jamieson, J. P., Mendes, W. B., & Nock, M. K. (2013). Improving Acute Stress Responses : The Power of Reappraisal. *Current Directions in Psychological Science*, *22*(1), 51-56. https://doi.org/10.1177/0963721412461500

Johnson, S. J., Machowski, S., Holdsworth, L., Kern, M., & Zapf, D. (2017). Age, emotion regulation strategies, burnout, and engagement in the service sector : Advantages of older workers. *Revista de Psicología del Trabajo y de las Organizaciones*, *33*(3), 205-216. https://doi.org/10.1016/j.rpto.2017.09.001

Jones, C. W., Basner, M., Mollicone, D. J., Mott, C. M., & Dinges, D. F. (2022). Sleep deficiency in spaceflight is associated with degraded neurobehavioral functions and elevated stress in astronauts on six-month missions aboard the International Space Station. *Sleep*, *45*(3), zsac006. https://doi.org/10.1093/sleep/zsac006

Juster, R.-P., McEwen, B. S., & Lupien, S. J. (2010). Allostatic load biomarkers of chronic stress and impact on health and cognition. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *35*(1), 2-16. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2009.10.002

Kanas, N. (2015). *Humans in Space : The Psychological Hurdles*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-18869-0

Kanas, N. A., Salnitskiy, V. P., Ritsher, J. B., Gushin, V. I., Weiss, D. S., Saylor, S. A., Kozerenko, O. P., & Marmar, C. R. (2006). Human interactions in space : ISS vs. Shuttle/Mir. *Acta Astronautica*, *59*(1), 413-419. https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2006.02.007

Kanas, N. A., Salnitskiy, V. P., Ritsher, J. B., Gushin, V. I., Weiss, D. S., Saylor, S. A., Kozerenko, O. P., & Marmar, C. R. (2007). Psychosocial interactions during ISS missions. *Acta Astronautica*, *60*(4), 329-335. https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2006.09.001

Kanas, N., Gushin, V., & Yusupova, A. (2021). Whither the Third Quarter Phenomenon? *Aerospace Medicine and Human Performance*, *92*(8), 689-691. https://doi.org/10.3357/AMHP.5857.2021

Kanas, N., Harris, M., Neylan, T., Boyd, J., Weiss, D. S., Cook, C., & Saylor, S. (2011). High versus low crewmember autonomy during a 105-day Mars simulation mission. *Acta Astronautica*, *69*(5), 240-244. https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2011.04.014

Kanas, N., Salnitskiy, V., Grund, E. M., Weiss, D. S., Gushin, V., Kozerenko, O., Sled, A., & Marmar, C. R. (2001). Human interactions in space : Results from shuttle/mir. *Acta Astronautica*, *49*(3), 243-260. https://doi.org/10.1016/S0094-5765(01)00103-5

Kanas, N., Salnitskiy, V., Gushin, V., Weiss, D. S., Grund, E. M., Flynn, C., Kozerenko, O., Sled, A., & Marmar, C. R. (2001). Asthenia—Does It Exist in Space? *Psychosomatic Medicine*, *63*(6), 874.

Kanas, N., Sandal, G., Boyd, J. E., Gushin, V. I., Manzey, D., North, R., Leon, G. R., Suedfeld, P., Bishop, S., Fiedler, E. R., Inoue, N., Johannes, B., Kealey, D. J., Kraft, N., Matsuzaki, I., Musson, D., Palinkas, L. A., Salnitskiy, V. P., Sipes, W., … Wang, J. (2009). Psychology and culture during long-duration space missions. *Acta Astronautica*, *64*(7), 659-677. https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2008.12.005

Kanas, N., Weiss, D. S., & Marmar, C. R. (1996). Crewmember interactions during a MIR space station simulation. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, *67*(10), 969-975.

Kessler, R. C., Chiu, W. T., Demler, O., & Walters, E. E. (2005). Prevalence, Severity, and Comorbidity of Twelve-month DSM-IV Disorders in the National Comorbidity Survey Replication (NCS-R). *Archives of general psychiatry*, *62*(6), 617-627. https://doi.org/10.1001/archpsyc.62.6.617

Khoury, J. E., Bosquet Enlow, M., Plamondon, A., & Lyons-Ruth, K. (2019). The association between adversity and hair cortisol levels in humans : A meta-analysis.

Psychoneuroendocrinology, *103*, 104-117. https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2019.01.009

Kim, H.-G., Cheon, E.-J., Bai, D.-S., Lee, Y. H., & Koo, B.-H. (2018). Stress and Heart Rate Variability : A Meta-Analysis and Review of the Literature. *Psychiatry Investigation*, *15*(3), 235-245. https://doi.org/10.30773/pi.2017.08.17

Kleinginna, P. R., & Kleinginna, A. M. (1981). A categorized list of emotion definitions, with suggestions for a consensual definition. *Motivation and Emotion*, *5*(4), 345-379. https://doi.org/10.1007/BF00992553

Kołodziej, M., Tarnowski, P., Majkowski, A., & Rak, R. J. (2019). Electrodermal activity measurements for detection of emotional arousal. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences*, *Vol. 67*(nr 4). https://doi.org/10.24425/bpasts.2019.130190

Kosti, R., Alvarez, J. M., Recasens, A., & Lapedriza, A. (2017). Emotion Recognition in Context. *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 1960-1968. https://doi.org/10.1109/CVPR.2017.212

Kreibig, S. D. (2010). Autonomic nervous system activity in emotion : A review. *Biological Psychology*, *84*(3), 394-421. https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2010.03.010

Kuppens, P., Tuerlinckx, F., Yik, M., Koval, P., Coosemans, J., Zeng, K. J., & Russell, J. A. (2017). The Relation Between Valence and Arousal in Subjective Experience Varies With Personality and Culture. *Journal of Personality*, *85*(4), 530-542. https://doi.org/10.1111/jopy.12258

Landon, L. B., Slack, K. J., & Barrett, J. D. (2018). Teamwork and collaboration in long-duration space missions : Going to extremes. *American Psychologist*, *73*(4), 563-575. https://doi.org/10.1037/amp0000260

Larue, O., West, R., Rosenbloom, P. S., Dancy, C. L., Samsonovich, A. V., Petters, D., & Juvina, I. (2018). Emotion in the Common Model of Cognition. *Procedia Computer Science*, *145*, 740-746. https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.11.045

Lazarus, R. S. (1966). *Psychological stress and the coping process*. McGraw-Hill.

Lazarus, R. S. (1991). Progress on a cognitive-motivational-relational theory of emotion. *American Psychologist*, *46*(8), 819-834. https://doi.org/10.1037/0003-066X.46.8.819

Lazarus, R. S., & Folkman, S. (1984). *Stress, Appraisal, and Coping*. Springer Publishing Company.

Le Roy, B., Martin-Krumm, C., Pinol, N., Dutheil, F., & Trousselard, M. (2023). Human challenges to adaptation to extreme professional environments : A systematic review.

Neuroscience & Biobehavioral Reviews, *146*, 105054. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2023.105054

Le Scanff, C., Bachelard, C., Cazes, G., Rosnet, E., & Rivolier, J. (1997). Psychological study of a crew in long-term space flight simulation. *The International Journal of Aviation Psychology*, *7*(4), 293-309. https://doi.org/10.1207/s15327108ijap0704_3

Lee, D. Y., Kim, E., & Choi, M. H. (2015). Technical and clinical aspects of cortisol as a biochemical marker of chronic stress. *BMB Reports*, *48*(4), 209-216. https://doi.org/10.5483/BMBRep.2015.48.4.275

Lehrer, P. M., & Gevirtz, R. (2014). Heart rate variability biofeedback : How and why does it work? *Frontiers in Psychology*, *5*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00756

Lenneis, A., Das-Friebel, A., Tang, N. K. Y., Sanborn, A. N., Lemola, S., Singmann, H., Wolke, D., von Mühlenen, A., & Realo, A. (2023). The influence of sleep on subjective well-being : An experience sampling study. *Emotion*, No Pagination Specified-No Pagination Specified. https://doi.org/10.1037/emo0001268

Leon, G. R. (2005). Men and women in space. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, *76*(6 Suppl), B84-88.

Lightman, S. L., Birnie, M. T., & Conway-Campbell, B. L. (2020). Dynamics of ACTH and Cortisol Secretion and Implications for Disease. *Endocrine Reviews*, *41*(3), bnaa002. https://doi.org/10.1210/endrev/bnaa002

Lim, N. (2016). Cultural differences in emotion : Differences in emotional arousal level between the East and the West. *Integrative Medicine Research*, *5*(2), 105-109. https://doi.org/10.1016/j.imr.2016.03.004

Lindquist, K. A., Siegel, E. H., Quigley, K. S., & Barrett, L. F. (2013). The hundred-year emotion war : Are emotions natural kinds or psychological constructions? Comment on Lench, Flores, and Bench (2011). *Psychological Bulletin*, *139*(1), 255-263. https://doi.org/10.1037/a0029038

Lindquist, K. A., Wager, T. D., Kober, H., Bliss-Moreau, E., & Barrett, L. F. (2012). The brain basis of emotion : A meta-analytic review. *The Behavioral and brain sciences*, *35*(3), 121-143. https://doi.org/10.1017/S0140525X11000446

Lucini, D., Di Fede, G., Parati, G., & Pagani, M. (2005). Impact of Chronic Psychosocial Stress on Autonomic Cardiovascular Regulation in Otherwise Healthy Subjects. *Hypertension*, *46*(5), 1201-1206. https://doi.org/10.1161/01.HYP.0000185147.32385.4b

Lutin, E., Schiweck, C., Cornelis, J., De Raedt, W., Reif, A., Vrieze, E., Claes, S., & Van Hoof, C. (2022). The cumulative effect of chronic stress and depressive symptoms affects

heart rate in a working population. *Frontiers in Psychiatry*, *13*. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyt.2022.1022298

Mallis, M. M., & DeRoshia, C. W. (2005). Circadian Rhythms, Sleep, and Performance in Space. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, *76*(6), B94-B107.

Martin-Krumm, C., Lefranc, B., Moelo, A., Poupon, C., Pontis, J., Vannier, A., & Trousselard, M. (2021). Is Regular Physical Activity Practice During a Submarine Patrol an Efficient Coping Strategy? *Frontiers in Psychiatry*, *12*. https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyt.2021.704981

Mason, J. W. (1968). A Review of Psychoendocrine Research on the Pituitary-Adrenal Cortical System. *Psychosomatic Medicine*, *30*(5), 576.

Mauss, I. B., & Robinson, M. D. (2009). Measures of emotion : A review. *Cognition and Emotion*, *23*(2), 209-237. https://doi.org/10.1080/02699930802204677

McCorry, L. K. (2007). Physiology of the Autonomic Nervous System. *American Journal of Pharmaceutical Education*, *71*(4), 78.

McEwen, B. S., & Wingfield, J. C. (2003). The concept of allostasis in biology and biomedicine. *Hormones and Behavior*, *43*(1), 2-15. https://doi.org/10.1016/S0018-506X(02)00024-7

Meiselman, H. L. (Éd.). (2016). *Emotion measurement*. Elsevier ; Woodhead Publishing.

Mesquita, B., Boiger, M., & De Leersnyder, J. (2016). The cultural construction of emotions. *Current Opinion in Psychology*, *8*, 31-36. https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2015.09.015

Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex "Frontal Lobe" Tasks : A Latent Variable Analysis. *Cognitive Psychology*, *41*(1), 49-100. https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734

Moors, A., Ellsworth, P. C., Scherer, K. R., & Frijda, N. H. (2013). Appraisal Theories of Emotion : State of the Art and Future Development. *Emotion Review*, *5*(2), 119-124. https://doi.org/10.1177/1754073912468165

Mumenthaler, C., & Sander, D. (2015). Automatic integration of social information in emotion recognition. *Journal of Experimental Psychology: General*, *144*(2), 392-399. https://doi.org/10.1037/xge0000059

Murray, J. (1894). The Renewal of Antarctic Exploration. *The Geographical Journal*, *3*(1), 1-27. https://doi.org/10.2307/1773599

Nakagawa, T., Gondo, Y., Ishioka, Y., & Masui, Y. (2017). Age, Emotion Regulation, and Affect in Adulthood : The Mediating Role of Cognitive Reappraisal. *Japanese Psychological Research*, *59*(4), 301-308. https://doi.org/10.1111/jpr.12159

Nasrini, J., Hermosillo, E., Dinges, D. F., Moore, T. M., Gur, R. C., & Basner, M. (2020). Cognitive Performance During Confinement and Sleep Restriction in NASA's Human Exploration Research Analog (HERA). *Frontiers in Physiology*, *11*, 394. https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00394

Nelson, N. L., & Russell, J. A. (2013). Universality Revisited. *Emotion Review*, *5*(1), 8-15. https://doi.org/10.1177/1754073912457227

Nicolas, M., Guillaume, M., Peter, S., Lawrence, P., Claude, B., & Marvin, G. (2021). The tougher the environment, the harder the adaptation? A psychological point of view in extreme situations. *Acta Astronautica*, *187*, 36-42. https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2021.05.045

Nicolas, M., & Gushin, V. (2015). Stress and Recovery Responses during a 105-day Ground-based Space Simulation : Stress and Recovery during Mars 105. *Stress and Health*, *31*(5), 403-410. https://doi.org/10.1002/smi.2565

Nicolas, M., Martinent, G., Drapeau, M., Chahraoui, K., Vacher, P., & de Roten, Y. (2017). Defense Profiles in Adaptation Process to Sport Competition and Their Relationships with Coping, Stress and Control. *Frontiers in Psychology*, *8*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.02222

Nicolas, M., Martinent, G., Suedfeld, P., & Gaudino, M. (2019). Assessing psychological adaptation during polar winter-overs : The isolated and confined environments questionnaire (ICE-Q). *Journal of Environmental Psychology*, *65*, 101317. https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2019.101317

Nicolas, M., Sandal, G. M., Weiss, K., & Yusupova, A. (2013). Mars-105 study : Time-courses and relationships between coping, defense mechanisms, emotions and depression. *Journal of Environmental Psychology*, *35*, 52-58. https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2013.05.001

Nicolas, M., & Weiss, K. (2009). Stress and recovery assessment during simulated microgravity : Effects of exercise during a long-term head-down tilt bed rest in women. *Journal of Environmental Psychology*, *29*(4), 522-528. https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2009.08.006

Öhman, A., & Mineka, S. (2001). Fears, phobias, and preparedness : Toward an evolved module of fear and fear learning. *Psychological Review*, *108*(3), 483-522. https://doi.org/10.1037/0033-295X.108.3.483

Ormston, T. (2012, août 5). *Time delay between Mars and Earth – Mars Express*. https://blogs.esa.int/mex/2012/08/05/time-delay-between-mars-and-earth/

Ortony, A., & Clore, G. (2014). Can an appraisal model be compatible with psychological constructionism. In L. F. Barrett & J. A. Russell (Éds.), *The Psychological Construction of Emotion*. Guilford Publications.

Pagnini, F., Manzey, D., Rosnet, E., Ferravante, D., White, O., & Smith, N. (2023). Human behavior and performance in deep space exploration : Next challenges and research gaps. *Npj Microgravity*, *9*(1), Article 1. https://doi.org/10.1038/s41526-023-00270-7

Palinkas, L. A., Glogower, F., Dembert, M., Hansen, K., & Smullen, R. (2004). Incidence of psychiatric disorders after extended residence in Antarctica. *International Journal of Circumpolar Health*, *63*(2), 157-168. https://doi.org/10.3402/ijch.v63i2.17702

Palinkas, L. A., Gunderson, E. K., Holland, A. W., Miller, C., & Johnson, J. C. (2000). Predictors of behavior and performance in extreme environments : The Antarctic space analogue program. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, *71*(6), 619-625.

Palinkas, L. A., & Houseal, M. (2000). Stages of Change in Mood and Behavior During a Winter in Antarctica. *Environment and Behavior*, *32*(1), 128-141. https://doi.org/10.1177/00139160021972469

Palinkas, L. A., & Suedfeld, P. (2021). Psychosocial issues in isolated and confined extreme environments. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *126*, 413-429. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.03.032

Palinkas, L. A., Suedfeld, P., & Steel, G. D. (1995). Psychological functioning among members of a small polar expedition. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, *66*(10), 943-950.

Palinkas, L., Keeton, K. E., Shea, C., & Leveton, L. (2010, février 3). *Psychosocial Characteristics of Optimum Performance in Isolated and Confined Environments (ICE)*. NASA/TM- 2011-216149JSC-CN-19808, National Technical Information Service, Springfield, VA. https://www.semanticscholar.org/paper/Psychosocial-Characteristics-of-Optimum-Performance-Palinkas-Keeton/1a5f6a82300aab19fd13a13acf3ae985dad67551

Pandiarajan, M., & Hargens, A. R. (2020). Ground-Based Analogs for Human Spaceflight. *Frontiers in Physiology*, *11*. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2020.00716

Paridon, K. N. van, Timmis, M. A., Nevison, C. M., & Bristow, M. (2017). The anticipatory stress response to sport competition; a systematic review with meta-analysis of cortisol reactivity. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, *3*(1), e000261. https://doi.org/10.1136/bmjsem-2017-000261

Passavanti, M., Argentieri, A., Barbieri, D. M., Lou, B., Wijayaratna, K., Foroutan Mirhosseini, A. S., Wang, F., Naseri, S., Qamhia, I., Tangerås, M., Pelliciari, M., & Ho, C.-H. (2021). The psychological impact of COVID-19 and restrictive measures in the world. *Journal of Affective Disorders*, *283*, 36-51. https://doi.org/10.1016/j.jad.2021.01.020

Patel, Z. S., Brunstetter, T. J., Tarver, W. J., Whitmire, A. M., Zwart, S. R., Smith, S. M., & Huff, J. L. (2020). Red risks for a journey to the red planet : The highest priority human health risks for a mission to Mars. *Npj Microgravity*, *6*(1), Article 1. https://doi.org/10.1038/s41526-020-00124-6

Pauly, J., Langlet, C., Hainaut, J.-P., Yusupova, A., & Bolmont, B. (2025). Affective States in a Space-Analog Mission and Insights from Psychometric and Hair Cortisol Measures. *Aerospace Medicine and Human Performance*, *96*(5), 436-442. https://doi.org/10.3357/AMHP.6578.2025

Pearlin, L. I. (1989). The Sociological Study of Stress. *Journal of Health and Social Behavior*, *30*(3), 241-256. https://doi.org/10.2307/2136956

Pessoa, L. (2008). On the relationship between emotion and cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, *9*(2), Article 2. https://doi.org/10.1038/nrn2317

Pessoa, L., Medina, L., Hof, P. R., & Desfilis, E. (2019). Neural architecture of the vertebrate brain : Implications for the interaction between emotion and cognition. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *107*, 296-312. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.09.021

Plieger, T., & Reuter, M. (2020). Stress & executive functioning : A review considering moderating factors. *Neurobiology of Learning and Memory*, *173*, 107254. https://doi.org/10.1016/j.nlm.2020.107254

Plutchik, R. (1980). Chapter 1—A GENERAL PSYCHOEVOLUTIONARY THEORY OF EMOTION. In R. Plutchik & H. Kellerman (Éds.), *Theories of Emotion* (p. 3-33). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-558701-3.50007-7

Poincaré, H. (avec University of California Libraries). (1912). *Calcul des probabilités*. Paris, Gauthier-Villars. http://archive.org/details/calculdeprobabil00poinrich

Poláčková Šolcová, I., Lačev, A., & Šolcová, I. (2014). Study of individual and group affective processes in the crew of a simulated mission to Mars : Positive affectivity as a valuable indicator of changes in the crew affectivity. *Acta Astronautica*, *100*, 57-67. https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2014.03.016

Poltavski, D., & R. Ferraro, F. (2003). Stress and illness in American and Russian college students. *Personality and Individual Differences*, *34*(6), 971-982. https://doi.org/10.1016/S0191-8869(02)00082-X

Prati, G., & Mancini, A. D. (2021). The psychological impact of COVID-19 pandemic lockdowns : A review and meta-analysis of longitudinal studies and natural experiments. *Psychological Medicine*, *51*(2), 201-211. https://doi.org/10.1017/S0033291721000015

Prinz, J. (2004). Which emotions are basic? In D. Evans & P. Cruse (Éds.), *Emotion, Evolution, and Rationality* (p. 69-88). Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198528975.003.0004

Ritsher, J. B., Kanas, N. A., Ihle, E. C., & Saylor, S. A. (2007). Psychological adaptation and salutogenesis in space : Lessons from a series of studies. *Acta Astronautica*, *60*(4), 336-340. https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2006.09.002

Roberti, J. W., Harrington, L. N., & Storch, E. A. (2006). Further Psychometric Support for the 10-Item Version of the Perceived Stress Scale. *Journal of College Counseling*, *9*(2), 135-147. https://doi.org/10.1002/j.2161-1882.2006.tb00100.x

Roberts, B. W., Luo, J., Briley, D. A., Chow, P. I., Su, R., & Hill, P. L. (2017). A systematic review of personality trait change through intervention. *Psychological Bulletin*, *143*(2), 117-141. https://doi.org/10.1037/bul0000088

Rohrer, J. (1961). Interpersonal relationships in isolated small groups. In B. Flaherty (Éd.), *Psychological Aspects of Manned Spaceflight*. Columbia University Press.

Rose, R. D., Buckey, J. C., Zbozinek, T. D., Motivala, S. J., Glenn, D. E., Cartreine, J. A., & Craske, M. G. (2013). A randomized controlled trial of a self-guided, multimedia, stress management and resilience training program. *Behaviour Research and Therapy*, *51*(2), 106-112. https://doi.org/10.1016/j.brat.2012.11.003

Rosnet, E., Cazes, G., & Vinokhodova, A. (1998). Study of the psychological adaptation of the crew during a 135 days space simulation. *Acta Astronautica*, *42*(1-8), 265-272.

Rosnet, E., Jurion, S., Cazes, G., & Bachelard, C. (2004). Mixed-gender groups : Coping strategies and factors of psychological adaptation in a polar environment. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, *75*(7 Suppl), C10-13.

Ruitenburg, M. M., Frings-Dresen, M. H., & Sluiter, J. K. (2012). The prevalence of common mental disorders among hospital physicians and their association with self-reported work ability : A cross-sectional study. *BMC Health Services Research*, *12*(1), 292. https://doi.org/10.1186/1472-6963-12-292

Russell, E., Koren, G., Rieder, M., & Van Uum, S. (2012). Hair cortisol as a biological marker of chronic stress : Current status, future directions and unanswered questions. *Psychoneuroendocrinology*, *37*(5), 589-601. https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2011.09.009

Russell, J. A. (1994). Is there universal recognition of emotion from facial expression? A review of the cross-cultural studies. *Psychological Bulletin*, *115*(1), 102-141. https://doi.org/10.1037/0033-2909.115.1.102

Russell, J. A. (2003). Core affect and the psychological construction of emotion. *Psychological Review*, *110*, 145-172. https://doi.org/10.1037/0033-295X.110.1.145

Russell, J. A., & Barrett, L. F. (1999). Core affect, prototypical emotional episodes, and other things called emotion : Dissecting the elephant. *Journal of Personality and Social Psychology*, *76*(5), 805-819. https://doi.org/10.1037/0022-3514.76.5.805

Saarimäki, H., Gotsopoulos, A., Jääskeläinen, I. P., Lampinen, J., Vuilleumier, P., Hari, R., Sams, M., & Nummenmaa, L. (2016). Discrete Neural Signatures of Basic Emotions. *Cerebral Cortex*, *26*(6), 2563-2573. https://doi.org/10.1093/cercor/bhv086

Sandal, G. M. (2000). *Coping in Antarctica : Is It Possible to Generalize Results Across Settings? 71*(9).

Sandal, G. M., Vaernes, R., Bergan, T., Warncke, M., & Ursin, H. (1996). Psychological reactions during polar expeditions and isolation in hyperbaric chambers. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, *67*(3), 227-234.

Sander, D. (2013). Models of Emotion : The affective neuroscience approach. In *The Cambridge Handbook of Human Affective Neuroscience*. Cambridge University Press.

Sander, D., Grandjean, D., & Scherer, K. R. (2005). A systems approach to appraisal mechanisms in emotion. *Neural Networks*, *18*(4), 317-352. https://doi.org/10.1016/j.neunet.2005.03.001

Sandi, C. (2013). Stress and cognition : Stress and cognition. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, *4*(3), 245-261. https://doi.org/10.1002/wcs.1222

Sandi, C., & Haller, J. (2015). Stress and the social brain : Behavioural effects and neurobiological mechanisms. *Nature Reviews Neuroscience*, *16*(5), Article 5. https://doi.org/10.1038/nrn3918

Sandoval, L., Keeton, K., Shea, C., Otto, C., Patterson, H., & Leveton, L. (2012). *Perspectives on Asthenia in Astronauts and Cosmonauts : Review of the International Research Literature* (JSC-CN-25339). https://ntrs.nasa.gov/citations/20110023297

Santy, P. A. (1994). *Choosing the right stuff : The psychological selection of astronauts and cosmonauts* (p. xix, 324). Praeger Publishers/Greenwood Publishing Group.

Scharfen, J., Peters, J. M., & Holling, H. (2018). Retest effects in cognitive ability tests : A meta-analysis. *Intelligence*, *67*, 44-66. https://doi.org/10.1016/j.intell.2018.01.003

Scherer, K. R. (1984). Les émotions : Fonctions et composantes. [Emotions: Functions and components.]. *Cahiers de Psychologie Cognitive/Current Psychology of Cognition*, *4*(1), 9-39.

Scherer, K. R., Schorr, A., & Johnstone, T. (2001). *Appraisal Processes in Emotion : Theory, Methods, Research*. Oxford University Press.

Schetter, C. D., & Dolbier, C. (2011). Resilience in the Context of Chronic Stress and Health in Adults. *Social and Personality Psychology Compass*, *5*(9), 634-652. https://doi.org/10.1111/j.1751-9004.2011.00379.x

Schneider, S., Brümmer, V., Carnahan, H., Kleinert, J., Piacentini, M. F., Meeusen, R., & Strüder, H. K. (2010). Exercise as a countermeasure to psycho-physiological deconditioning during long-term confinement. *Behavioural Brain Research*, *211*(2), 208-214. https://doi.org/10.1016/j.bbr.2010.03.034

Seligman, M. E. P., & Csikszentmihalyi, M. (2014). Positive Psychology : An Introduction. In M. Csikszentmihalyi (Éd.), *Flow and the Foundations of Positive Psychology : The Collected Works of Mihaly Csikszentmihalyi* (p. 279-298). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9088-8_18

Selye, H. (1956). *The stress of life* (p. xvi, 324). McGraw-Hill.

Shved, D. M., Gushchin, V. I., Vinokhodova, A. G., Nichiporuk, I. A., & Vasilieva, G. Yu. (2014). Psychophysiological adaptation and communication behavior of a human operator during 105-day isolation. *Human Physiology*, *40*(7), 797-803. https://doi.org/10.1134/S036211971407024X

Siegel, E. H., Sands, M. K., Van den Noortgate, W., Condon, P., Chang, Y., Dy, J., Quigley, K. S., & Barrett, L. F. (2018). Emotion fingerprints or emotion populations? A meta-analytic investigation of autonomic features of emotion categories. *Psychological Bulletin*, *144*(4), 343-393. https://doi.org/10.1037/bul0000128

Slack, K. J., Schneiderman, J. S., Leveton, L. B., Whitmire, A. M., & Picano, J. J. (2015, janvier 1). *Risk of Adverse Cognitive or Behavioral Conditions and Psychiatric Disorders*. https://ntrs.nasa.gov/citations/20150016966

Smith, C. A., & Ellsworth, P. C. (1985). Patterns of cognitive appraisal in emotion. *Journal of Personality and Social Psychology*, *48*(4), 813-838. https://doi.org/10.1037/0022-3514.48.4.813

Smith, S. M., & Vale, W. W. (2006). The role of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis in neuroendocrine responses to stress. *Dialogues in Clinical Neuroscience*, *8*(4), 383-395.

Šolcová, I., Vinokhodova, A., & Gushin, V. (2021). Anticipated and perceived personal growth and values in two spaceflight simulation studies. *Acta Astronautica*, *179*, 561-568. https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2020.11.029

Solomon, R. L. (1980). The opponent-process theory of acquired motivation : The costs of pleasure and the benefits of pain. *American Psychologist*, *35*(8), 691-712. https://doi.org/10.1037/0003-066X.35.8.691

Spielberger, C. D. (2010). State-Trait Anxiety Inventory. In *The Corsini Encyclopedia of Psychology* (p. 1-1). American Cancer Society. https://doi.org/10.1002/9780470479216.corpsy0943

Starcke, K., & Brand, M. (2016). Effects of stress on decisions under uncertainty : A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, *142*(9), 909-933. https://doi.org/10.1037/bul0000060

Starcke, K., Wiesen, C., Trotzke, P., & Brand, M. (2016). Effects of Acute Laboratory Stress on Executive Functions. *Frontiers in Psychology*, *7*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00461

Steel, G. D. (2001). Polar Moods : Third-Quarter Phenomena in the Antarctic. *Environment and Behavior*, *33*(1), 126-133. https://doi.org/10.1177/00139160121972909

Steptoe, A., Deaton, A., & Stone, A. A. (2015). Subjective wellbeing, health, and ageing. *The Lancet*, *385*(9968), 640-648. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)61489-0

Sterling, P. (2012). Allostasis : A model of predictive regulation. *Physiology & Behavior*, *106*(1), 5-15. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2011.06.004

Sterling, P., & Eyer, J. (1988). Allostasis : A new paradigm to explain arousal pathology. In *Handbook of life stress, cognition and health* (p. 629-649). Wiley.

Strewe, C., Moser, D., Buchheim, J.-I., Gunga, H.-C., Stahn, A., Crucian, B. E., Fiedel, B., Bauer, H., Gössmann-Lang, P., Thieme, D., Kohlberg, E., Choukèr, A., & Feuerecker, M. (2019). Sex differences in stress and immune responses during confinement in Antarctica. *Biology of Sex Differences*, *10*(1), 20. https://doi.org/10.1186/s13293-019-0231-0

Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, *18*(6), 643-662. https://doi.org/10.1037/h0054651

Stuster, J., & Barbara, S. (2016). *Behavioral Issues Associated With Long Duration Space Expeditions : Review and Analysis of Astronaut Journals Experiment 01-E104 (Journals) Phase 2 Final Report*. 117.

Suedfeld, P. (1991). Groups in Isolation and Confinement : Environments and Experiences. In A. A. Harrison, Y. A. Clearwater, & C. P. McKay (Éds.), *From Antarctica to Outer Space* (p. 135-146). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3012-0_14

Suedfeld, P. (2010). Historical space psychology : Early terrestrial explorations as Mars analogues. *Planetary and Space Science*, *58*(4), 639-645. https://doi.org/10.1016/j.pss.2009.05.010

Suedfeld, P., Brcic, J., Johnson, P. J., & Gushin, V. (2012). Personal growth following long-duration spaceflight. *Acta Astronautica*, *79*, 118-123. https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2012.04.039

Suedfeld, P., & Steel, G. D. (2000). The Environmental Psychology of Capsule Habitats. *Annual Review of Psychology*, *51*(1), 227-253. https://doi.org/10.1146/annurev.psych.51.1.227

Suedfeld, P., Wilk, K. E., & Cassel, L. (2013). Flying with Strangers : Postmission Reflections of Multinational Space Crews. In D. A. Vakoch (Éd.), *On Orbit and Beyond : Psychological Perspectives on Human Spaceflight* (p. 185-209). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-30583-2_10

Tcherkassof, A. (2013). *Les émotions et leurs expressions* (1ere édition). Presses Universitaires de Grenoble.

Thieme, D., Anielski, P., Helfers, A.-K., & Krumbholz, A. (2020). Analytical Approaches to the Quantitative Evaluation of Endocannabinoids and Glucocorticoids as Stress Markers : Growing Evidence for Hair Testing. In A. Choukèr (Éd.), *Stress Challenges and Immunity in Space : From Mechanisms to Monitoring and Preventive Strategies* (p. 535-552). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-16996-1_29

Tracy, J. L., & Randles, D. (2011). Four Models of Basic Emotions : A Review of Ekman and Cordaro, Izard, Levenson, and Panksepp and Watt. *Emotion Review*, *3*(4), 397-405. https://doi.org/10.1177/1754073911410747

Urry, H. L., & Gross, J. J. (2010). Emotion Regulation in Older Age. *Current Directions in Psychological Science*, *19*(6), 352-357. https://doi.org/10.1177/0963721410388395

Ushakov, I. B., Vladimirovich, M. B., Bubeev, Y. A., Gushin, V. I., Vasil'eva, G. Y., Vinokhodova, A. G., & Shved, D. M. (2014). Main findings of psychophysiological studies in the Mars 500 experiment. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, *84*(2), 106-114. https://doi.org/10.1134/S1019331614020063

Van Fossen, J. A., Olenick, J., Ayton, J., Chang, C.-H., & Kozlowski, S. W. J. (2021). Relationships between personality and social functioning, attitudes towards the team

and mission, and well-being in an ICE environment. *Acta Astronautica*, *189*, 658-670. https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2021.09.031

Van Ombergen, A., Chaput, D., Fomina, E., Gil, V., Girgenrath, M., Hirsch, N., Inoue, N., Johnson-Green, P., Ngo-Anh, T. J., McPhee, J. C., Maillet, A., Murakami, K., Stang, K., von der Wiesche, M., Bell, S. T., Flynn-Evans, E. E., Whiting, S. E., Landon, L. B., Crucian, B. E., … Vessey, W. B. (2022, septembre 18). *Isolation Standard Measures : A set of validated and feasible measurements ensuring comparability across isolation and confinement studies*. International Astronautical Congress (IAC), Paris, France.

Walla, P., Wolman, A., & Northoff, G. (2025). A Call for Conceptual Clarity : "Emotion" as an Umbrella Term Did Not Work—Let's Narrow It Down. *Brain Sciences*, *15*(9), 929. https://doi.org/10.3390/brainsci15090929

Watson, D., Clark, L. A., & Tellegen, A. (1988). Development and validation of brief measures of positive and negative affect : The PANAS scales. *Journal of Personality and Social Psychology*, *54*(6), 1063-1070. https://doi.org/10.1037/0022-3514.54.6.1063

Westermann, G., Thomas, M. S. C., & Karmiloff-Smith, A. (2010). Neuroconstructivism. In *The Wiley-Blackwell Handbook of Childhood Cognitive Development* (p. 723-748). John Wiley & Sons, Ltd. https://doi.org/10.1002/9781444325485.ch28

Wheaton, B., & Montazer, S. (2010). Stressors, stress, and distress. In *A handbook for the study of mental health : Social contexts, theories, and systems* (2e éd., p. 171-199). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511984945

Wilson-Mendenhall, C. D., Barrett, L. F., Simmons, W. K., & Barsalou, L. W. (2011). Grounding emotion in situated conceptualization. *Neuropsychologia*, *49*(5), 1105-1127. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2010.12.032

Wood, J., Hysong, S. J., Lugg, D. J., & Harm, D. L. (2000). Is it Really So Bad? : A Comparison of Positive and Negative Experiences in Antarctic Winter Stations. *Environment and Behavior*, *32*(1), 84-110. https://doi.org/10.1177/00139160021972441

Wu, R., & Wang, Y. (2015). Psychosocial interaction during a 105-day isolated mission in Lunar Palace 1. *Acta Astronautica*, *113*, 1-7. https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2015.03.032

Yaden, D. B., Iwry, J., Slack, K. J., Eichstaedt, J. C., Zhao, Y., Vaillant, G. E., & Newberg, A. B. (2016). The overview effect : Awe and self-transcendent experience in space flight. *Psychology of Consciousness: Theory, Research, and Practice*, *3*(1), 1-11. https://doi.org/10.1037/cns0000086

Yerkes, R. M., & Dodson, J. D. (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Journal of Comparative Neurology and Psychology*, *18*(5), 459-482. https://doi.org/10.1002/cne.920180503

Yi, B., Matzel, S., Feuerecker, M., Hörl, M., Ladinig, C., Abeln, V., Choukèr, A., & Schneider, S. (2015). The impact of chronic stress burden of 520-d isolation and confinement on the physiological response to subsequent acute stress challenge. *Behavioural Brain Research*, *281*, 111-115. https://doi.org/10.1016/j.bbr.2014.12.011

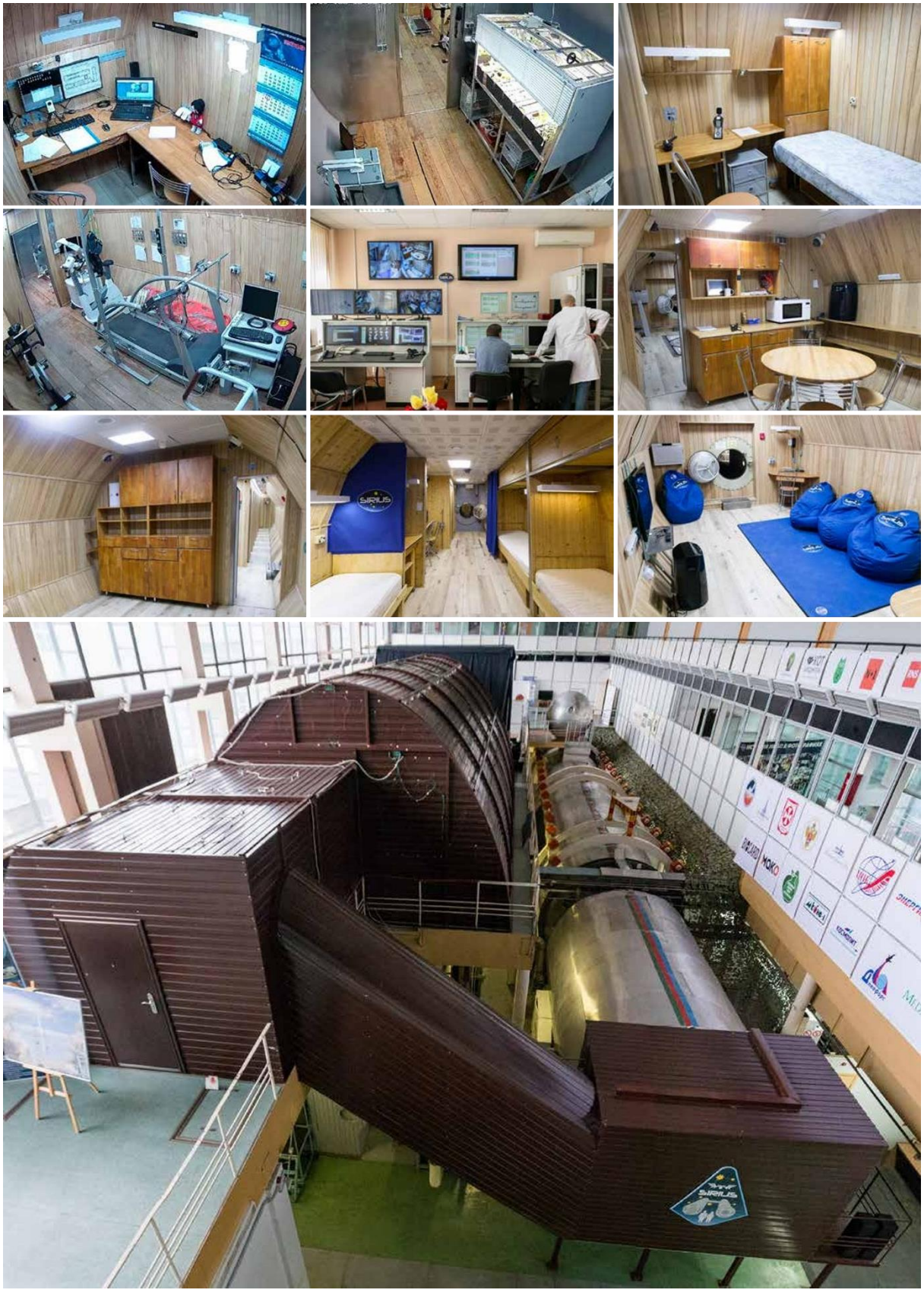
Zachar, P. (2022). The Psychological Construction of Emotion – A Non-Essentialist Philosophy of Science. *Emotion Review*, *14*(1), 3-14. https://doi.org/10.1177/17540739211058715

Zhang, B., Morère, Y., Sieler, L., Langlet, C., Bolmont, B., & Bourhis, G. (2017). Reaction time and physiological signals for stress recognition. *Biomedical Signal Processing and Control*, *38*, 100-107. https://doi.org/10.1016/j.bspc.2017.05.003

Ziegler, M. G. (2012). Chapter 61—Psychological Stress and the Autonomic Nervous System. In D. Robertson, I. Biaggioni, G. Burnstock, P. A. Low, & J. F. R. Paton (Éds.), *Primer on the Autonomic Nervous System (Third Edition)* (p. 291-293). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386525-0.00061-5

Annexes

I. Annexe 1 : Photos du NEK et de son intérieur















II. Annexe 2 : Échelle des affects positifs et négatifs (PANAS, version anglaise)

Worksheet 3.1 The Positive and Negative Affect Schedule (PANAS; Watson et al., 1988)

PANAS Questionnaire

This scale consists of a number of words that describe different feelings and emotions. Read each item and then list the number from the scale below next to each word. **Indicate to what extent you feel this way right now, that is, at the present moment *OR* indicate the extent you have felt this way over the past week (circle the instructions you followed when taking this measure)**

1	2	3	4	5
Very Slightly or Not at All	A Little	Moderately	Quite a Bit	Extremely

_____ 1. Interested	_____ 11. Irritable
_____ 2. Distressed	_____ 12. Alert
_____ 3. Excited	_____ 13. Ashamed
_____ 4. Upset	_____ 14. Inspired
_____ 5. Strong	_____ 15. Nervous
_____ 6. Guilty	_____ 16. Determined
_____ 7. Scared	_____ 17. Attentive
_____ 8. Hostile	_____ 18. Jittery
_____ 9. Enthusiastic	_____ 19. Active
_____ 10. Proud	_____ 20. Afraid

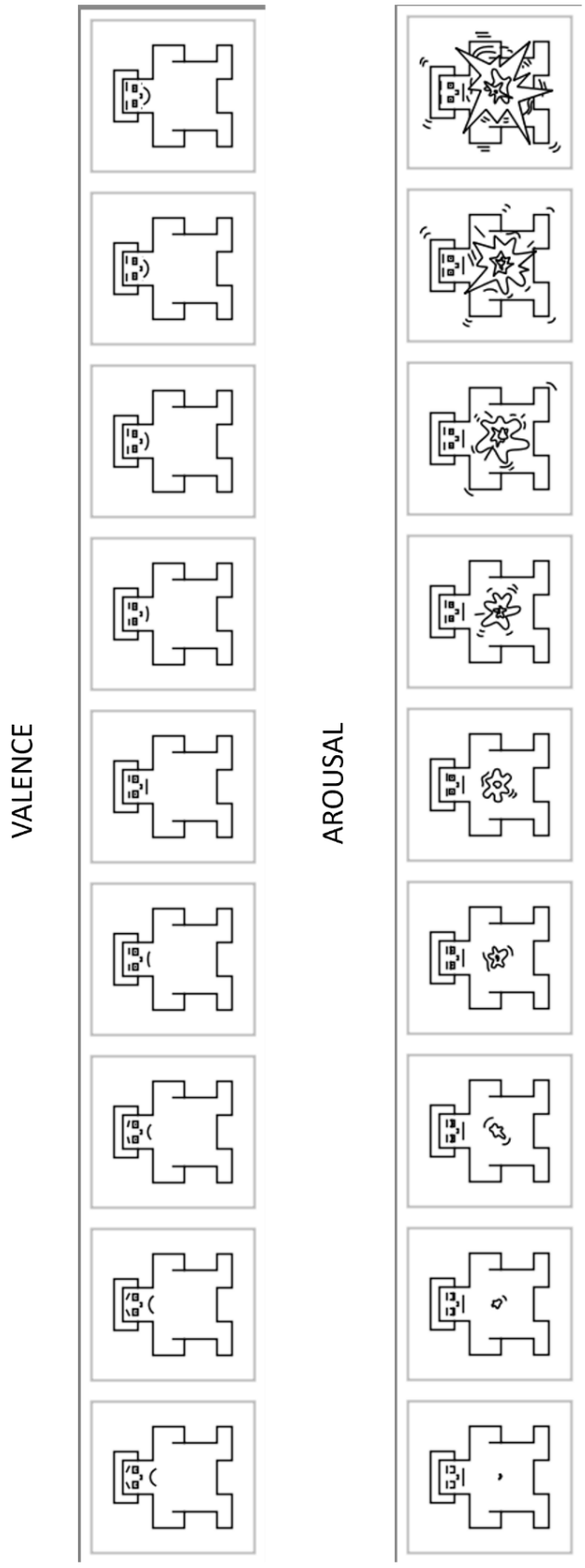
Scoring Instructions:

Positive Affect Score: Add the scores on items 1, 3, 5, 9, 10, 12, 14, 16, 17, and 19. Scores can range from 10 – 50, with higher scores representing higher levels of positive affect. Mean Scores: Momentary = 29.7 (*SD* = 7.9); Weekly = 33.3 (*SD = 7.2)*

Negative Affect Score: Add the scores on items 2, 4, 6, 7, 8, 11, 13, 15, 18, and 20. Scores can range from 10 – 50, with lower scores representing lower levels of negative affect. Mean Score: Momentary = 14.8 (*SD* = 5.4); Weekly = 17.4 (*SD* = 6.2)

Copyright © 1988 by the American Psychological Association. Reproduced with permission. The official citation that should be used in referencing this material is Watson, D., Clark, L. A., & Tellegan, A. (1988). Development and validation of brief measures of positive and negative affect: The PANAS scales. Journal of Personality and Social Psychology, 54(6), 1063–1070.

III. Annexe 3 : Mannequin d'Auto-Evaluation (SAM, version anglaise)



IV. Annexe 4 : Échelle de Stress Perçu (PSS, version anglaise)

PERCEIVED STRESS SCALE

The questions in this scale ask you about your feelings and thoughts during the last month. In each case, you will be asked to indicate by circling how often you felt or thought a certain way.

0 = Never 1 = Almost Never 2 = Sometimes 3 = Fairly Often 4 = Very Often

1. In the last month, how often have you been upset because of something that happened unexpectedly?	0	1	2	3	4
2. In the last month, how often have you felt that you were unable to control the important things in your life?	0	1	2	3	4
3. In the last month, how often have you felt nervous and “stressed”?	0	1	2	3	4
4. In the last month, how often have you felt confident about your ability to handle your personal problems?	0	1	2	3	4
5. In the last month, how often have you felt that things were going your way?	0	1	2	3	4
6. In the last month, how often have you found that you could not cope with all the things that you had to do?	0	1	2	3	4
7. In the last month, how often have you been able to control irritations in your life?	0	1	2	3	4
8. In the last month, how often have you felt that you were on top of things?	0	1	2	3	4
9. In the last month, how often have you been angered because of things that were outside of your control?	0	1	2	3	4
10. In the last month, how often have you felt difficulties were piling up so high that you could not overcome them?	0	1	2	3	4

V. Annexe 5 : Inventaire de l'Anxiété État (STAI-A, version anglaise)

SELF-EVALUATION QUESTIONNAIRE STAI Form Y-1

Please provide the following information:

Name_____Date_____S_____

Age_____ Gender (*Circle*) **M** **F** T_____

DIRECTIONS:

A number of statements which people have used to describe themselves are given below. Read each statement and then circle the appropriate number to the right of the statement to indicate how you felt the last month. There are no right or wrong answers. Do not spend too much time on any one statement but give the answer which seems to describe your present feelings best.

	NOT AT ALL	SOMEWHAT	MODERATELY SO	VERY MUCH SO
1. I feel calm	1	2	3	4
2. I feel secure	1	2	3	4
3. I am tense	1	2	3	4
4. I feel strained	1	2	3	4
5. I feel at ease	1	2	3	4
6. I feel upset	1	2	3	4
7. I am presently worrying over possible misfortunes	1	2	3	4
8. I feel satisfied	1	2	3	4
9. I feel frightened	1	2	3	4
10. I feel comfortable	1	2	3	4
11. I feel self-confident	1	2	3	4
12. I feel nervous	1	2	3	4
13. I am jittery	1	2	3	4
14. I feel indecisive	1	2	3	4
15. I am relaxed	1	2	3	4
16. I feel content	1	2	3	4
17. I am worried	1	2	3	4
18. I feel confused	1	2	3	4
19. I feel steady	1	2	3	4
20. I feel pleasant	1	2	3	4

© Copyright 1968,1977 by Charles D. Spielberger. All rights reserved.
Published by Mind Garden, Inc., 1690 Woodside Rd, Suite 202, Redwood City, CA 94061

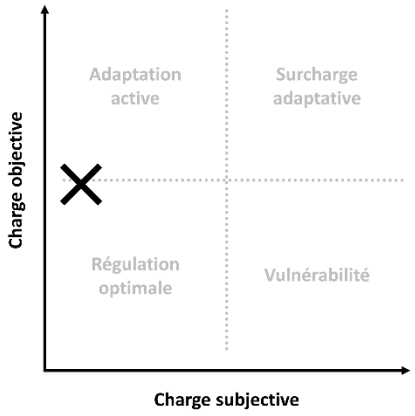
STAIP-AD Test Form Y
www.mindgarden.com

Copyright 1968, 1977 by Charles D. Spielberger. All rights reserved.

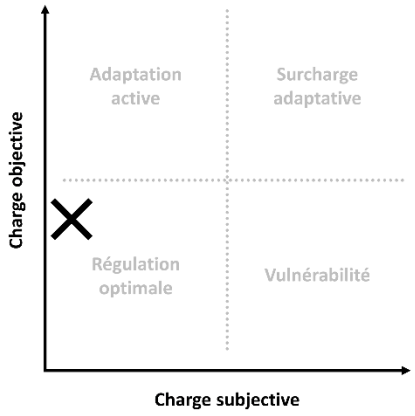
VI. Annexe 6 : Application du modèle ADAPT-2D auprès des participants à la mission SIRIUS-21

SUJET A

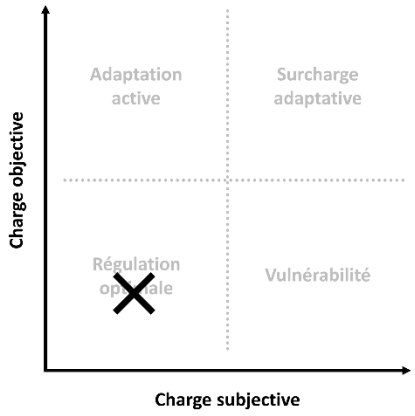
T0



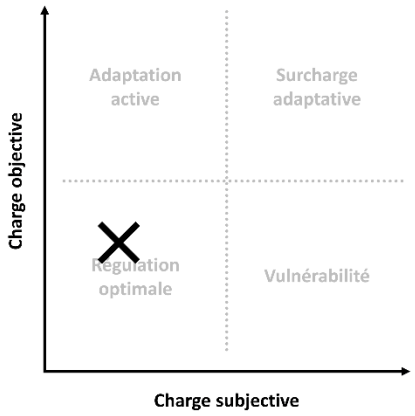
MD15



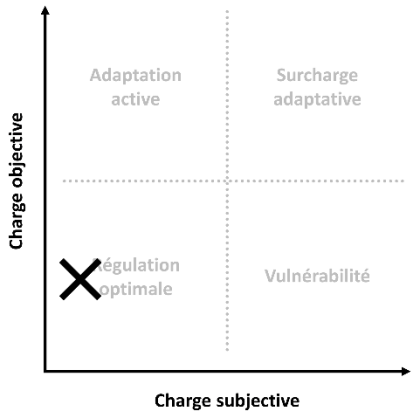
MD45



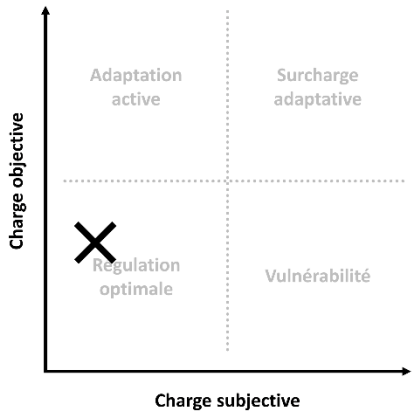
MD75



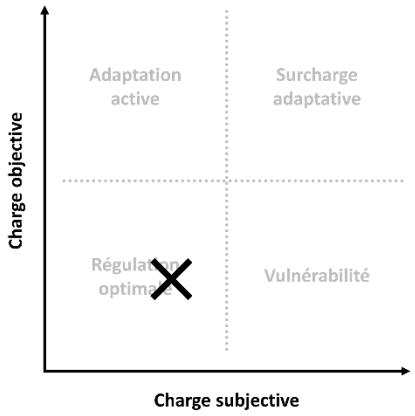
MD105



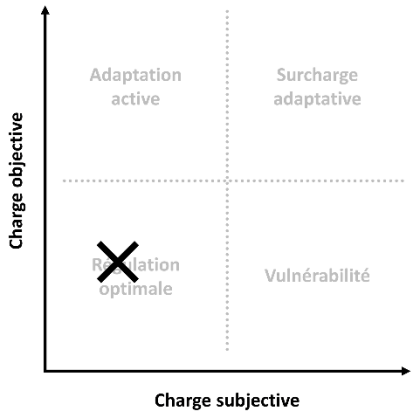
MD135



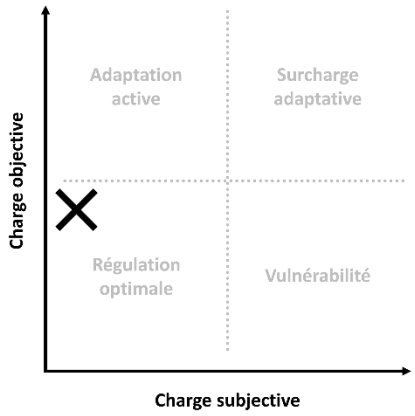
MD165



MD195

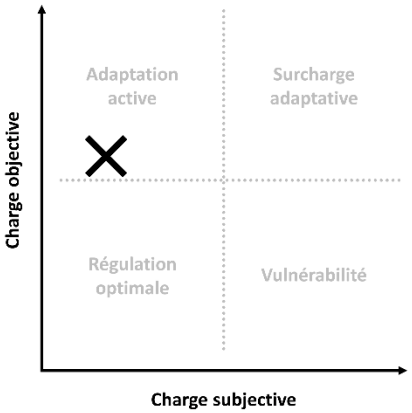


MD225

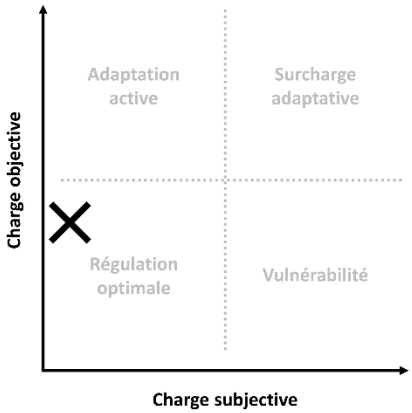


SUJET B

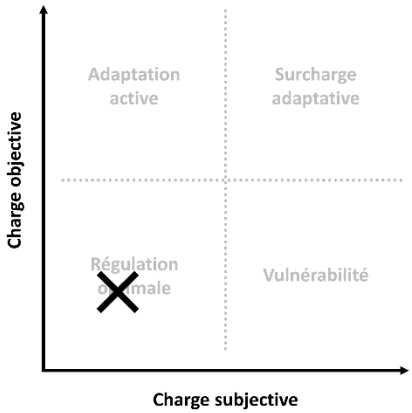
T0



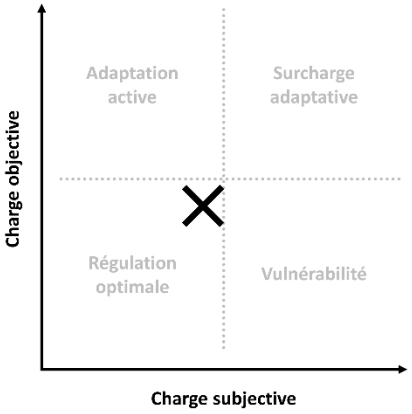
MD15



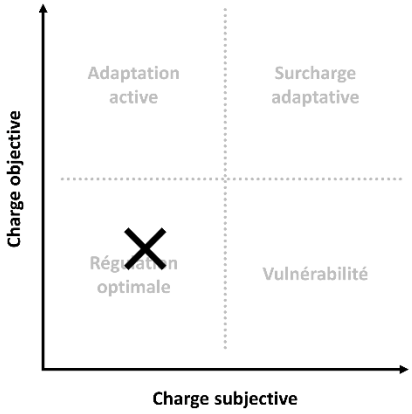
MD45



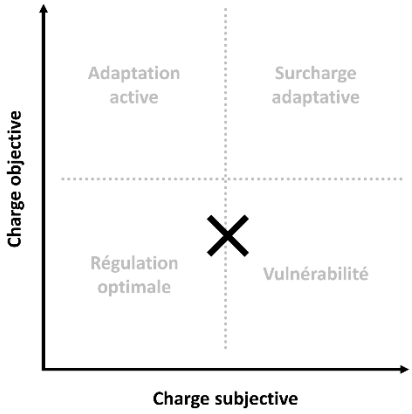
MD75



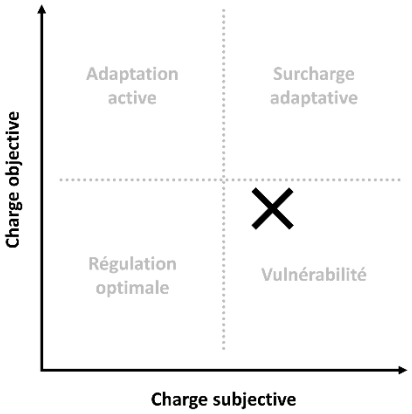
MD105



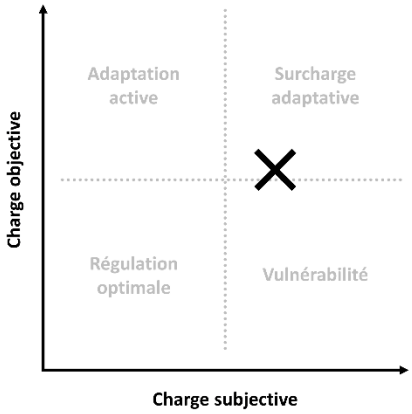
MD135



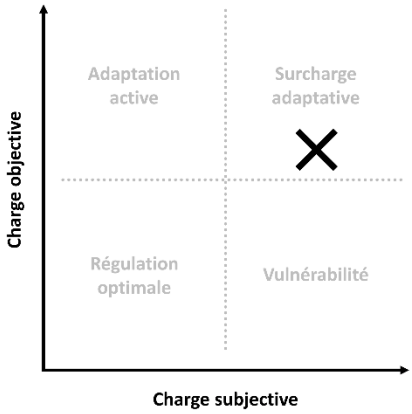
MD165



MD195

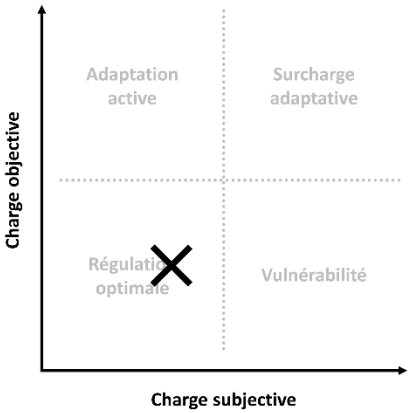


MD225

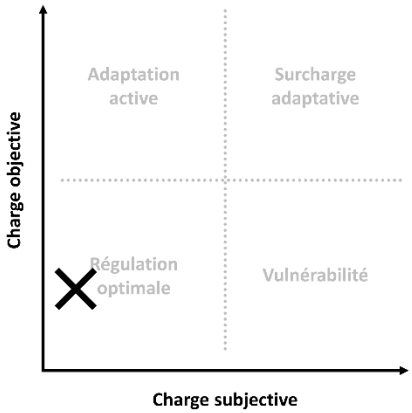


SUJET C

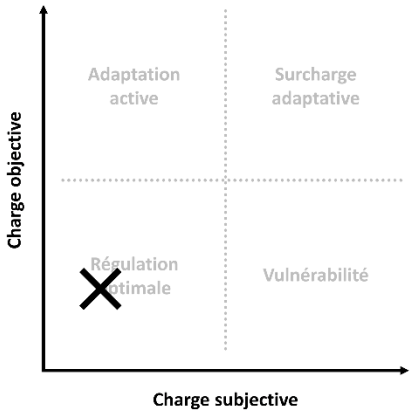
T0



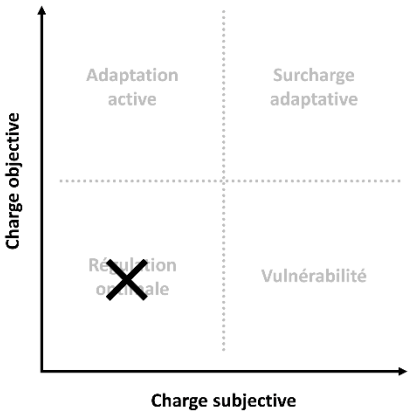
MD15



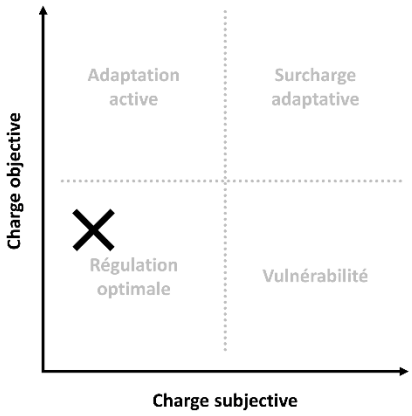
MD45



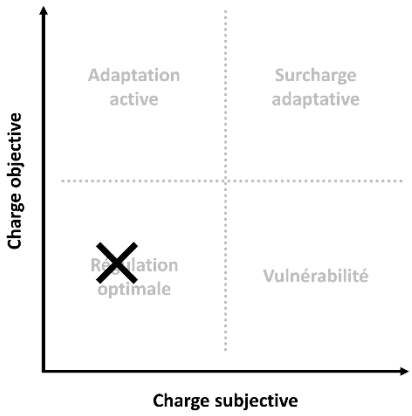
MD75



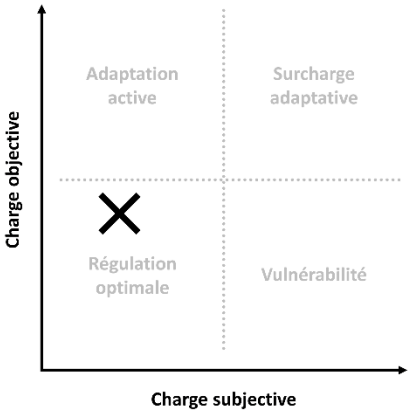
MD105



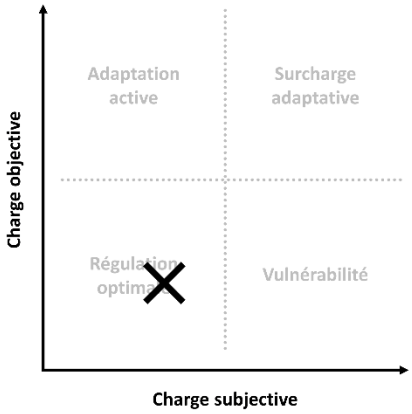
MD135



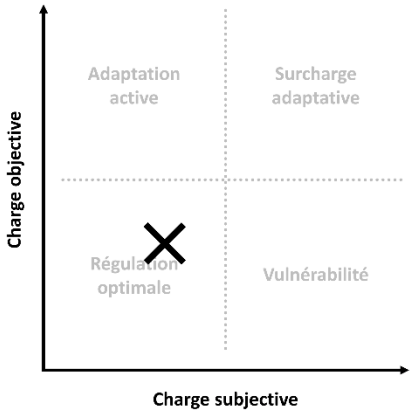
MD165



MD195

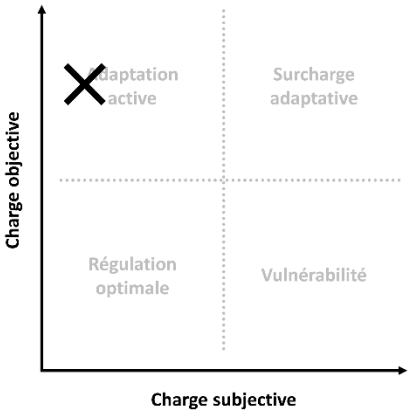


MD225

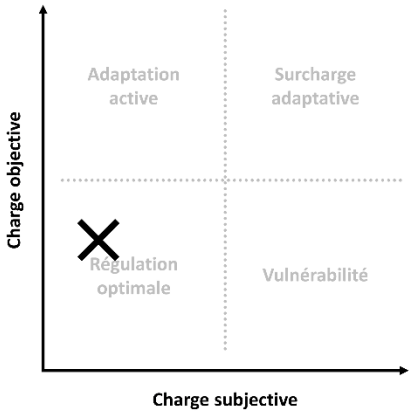


SUJET D

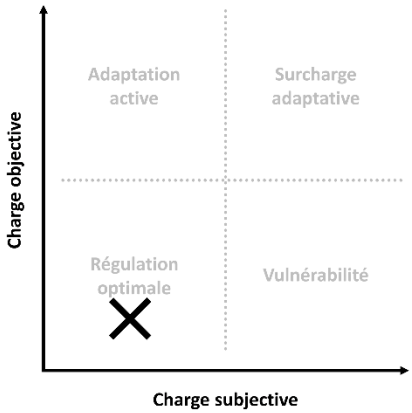
T0



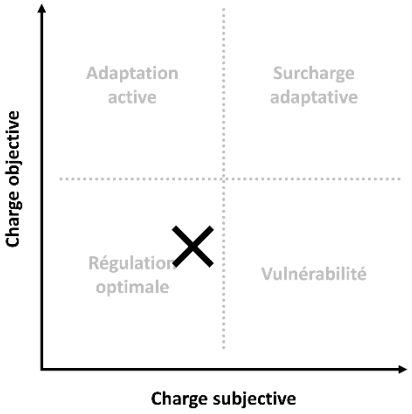
MD15



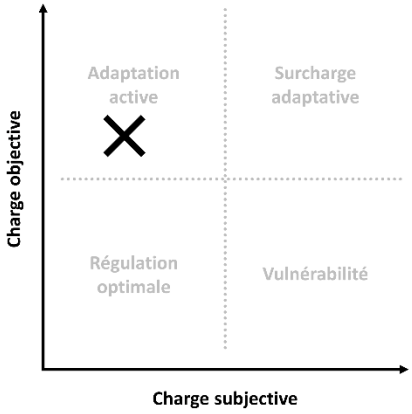
MD45



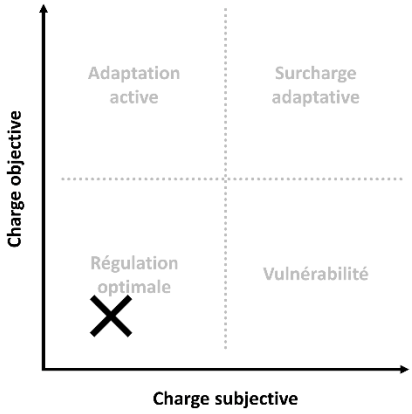
MD75



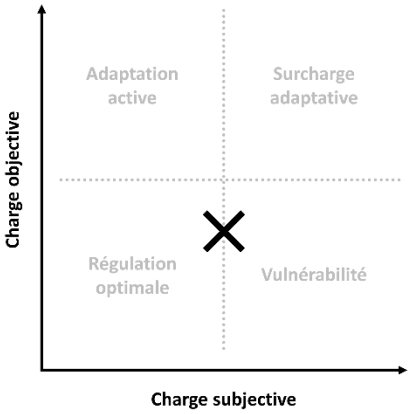
MD105



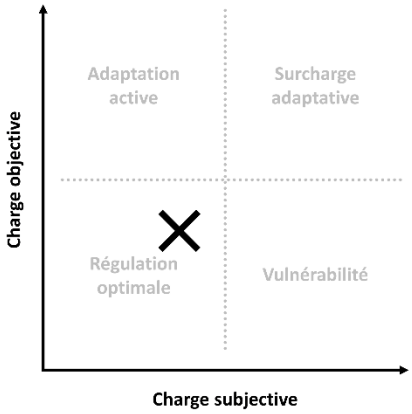
MD135



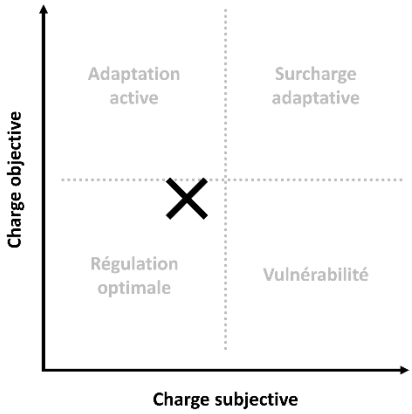
MD165



MD195

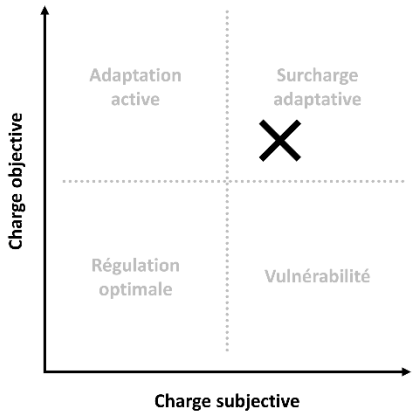


MD225

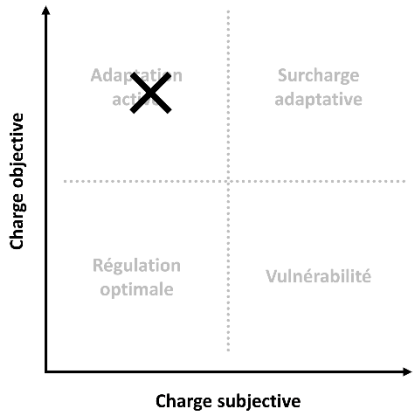


SUJET E

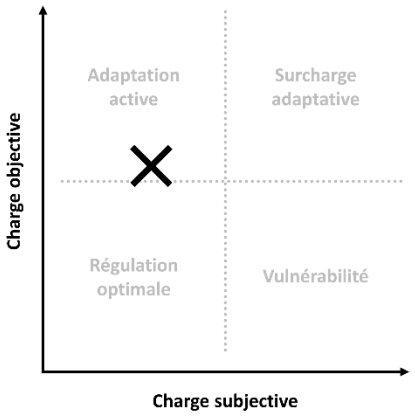
T0



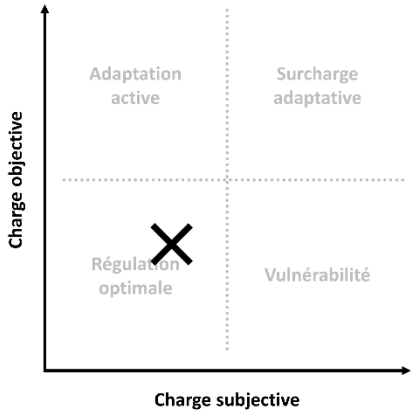
MD15



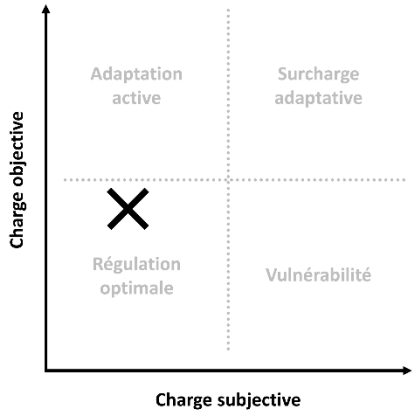
MD45



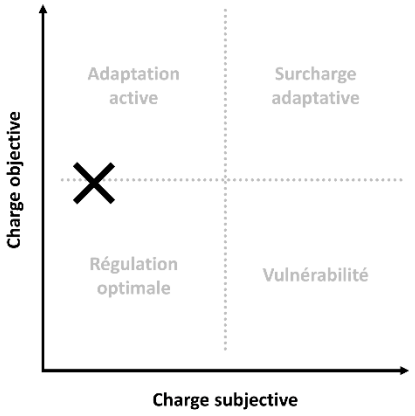
MD75



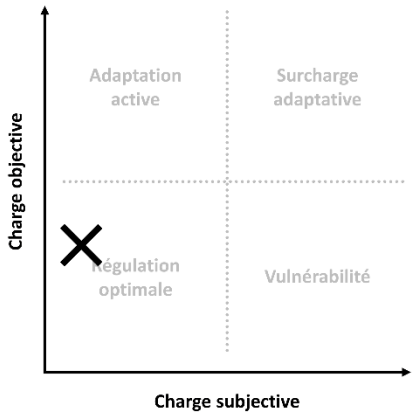
MD105



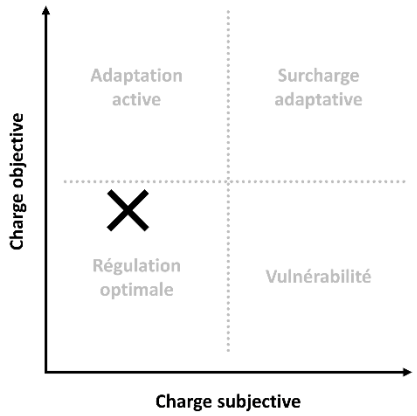
MD135



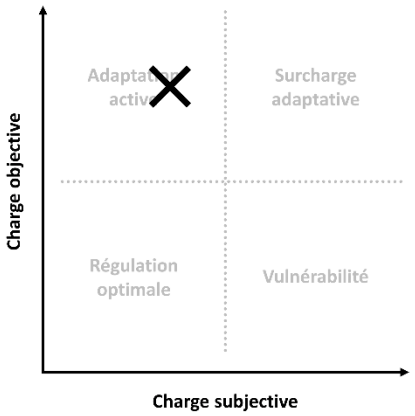
MD165



MD195



MD225



Abstract

Space environments expose astronauts to extreme living conditions that may impact their mental health. In order to better understand psychological dynamics in such contexts, this thesis focuses on the evolution of affective states during two confinement missions simulating long-duration space travel (Scientific International Research in Unique terrestrial Station – SIRIUS program, Moscow).

Two studies were conducted during the SIRIUS-19 (4 months; N=6) and SIRIUS-21 (8 months; N=5) missions, using a protocol that combined subjective (questionnaires), physiological (hair cortisol levels, ECG, electrodermal activity), and cognitive (inhibitory control tasks) indicators. The objective was to investigate both collective and individual affective trajectories, and to explore the relevance of a multimodal approach to monitor psychological adaptation in confined environments.

Despite technical constraints that limited the analysis of some datasets, the results reveal high inter- and intra-individual variability, without any consistent temporal trend at the group level. Most participants reported generally positive affective states throughout the missions. Transient increases in physiological indicators were observed at the beginning and end of the missions, suggesting phases of adaptation to the environment, without noticeable impacts on subjective affective states. These findings suggest that space analog environments, although challenging, do not necessarily lead to major deterioration in affective well-being.

This thesis offers a critical analysis of current methodologies for assessing affective states in simulated space environments. It draws on an in-depth analysis of the affective science literature to guide the selection and interpretation of the instruments used. This work contributes to a better understanding of human adaptation in space-like conditions and highlights the relevance of a multimodal, integrative, and individualized approach to support astronauts in future long-duration space missions.

Keywords : space-analog environment, affective states, emotions, physiology, stress, astronaut

Résumé

Les environnements spatiaux exposent les astronautes à des conditions de vie extrêmes susceptibles d'affecter leur santé mentale. Afin de mieux comprendre les dynamiques psychologiques dans ces contextes, cette thèse s'intéresse à l'évolution des états affectifs au cours de deux missions de confinement simulant des voyages spatiaux de longue durée (programme SIRIUS, pour Scientific International Research in Unique terrestrial Station, à Moscou).

Deux études ont été réalisées lors des missions SIRIUS-19 (4 mois ; N=6) et SIRIUS-21 (8 mois ; N=5), avec un protocole combinant des mesures subjectives (questionnaires), physiologiques (cortisol capillaire, ECG, AED), et cognitives (tâches d'inhibition cognitive). L'objectif était d'étudier les trajectoires affectives collectives et individuelles des participants, et d'explorer l'intérêt d'une approche multimodale pour suivre l'adaptation psychologique en milieu confiné.

Malgré des contraintes techniques ayant limité l'exploitation de certaines données, les résultats montrent une grande variabilité inter- et intra-individuelle, sans évolution temporelle homogène au niveau du groupe. La plupart des participants ont rapporté des états affectifs globalement positifs tout au long des missions. Des augmentations transitoires de l'activité physiologique ont été observées en début et fin de mission, suggérant des phases d'adaptation à l'environnement, sans répercussion manifeste sur les ressentis subjectifs. Ces résultats suggèrent que les environnements analogues au spatial, bien qu'exigeants, ne génèrent pas nécessairement une dégradation majeure des états affectifs.

Cette thèse examine de manière critique les méthodes disponibles pour suivre les états affectifs dans des environnements spatiaux simulés. Elle s'appuie sur une analyse approfondie de la littérature en sciences affectives pour guider le choix et l'interprétation des outils utilisés. Ce travail contribue ainsi à une meilleure compréhension de l'adaptation humaine en contexte spatial, et souligne la pertinence d'une approche multimodale, intégrative et individualisée pour accompagner les astronautes lors de futures missions de longue durée.

Mots clés : environnement analogue au spatial, états affectifs, émotions, physiologie, stress, astronaute