

Rapport d'analyse de la charge mentale dans la tâche N-back

MASTER 1 SCIENCES COGNITIVES

Réalisé par :

**Elia AWADE
Shenglan CHEN
Imen ELAMRI
Fatou Marie GAYE
Shiraz OUARDA
Léopold PÉLAGIE**

Enseignante référente :

Catherine Gabaude

TD 001
Décembre 2024

Table des matières

I. Introduction.....	3
II. Méthodologie.....	3
1. Explication du protocole expérimental.....	3
2. Les variables.....	4
3. Outils utilisés.....	4
III. Analyse des résultats.....	5
1. Les variables physiologiques.....	5
2. Les variables du système nerveux autonome.....	5
3. Les variables comportementales.....	6
IV. Discussion.....	6
Bibliographie.....	9
Annexes.....	10

I. Introduction

La compréhension des mécanismes cognitifs humains et de leurs limites constitue un enjeu majeur dans de nombreux domaines, de l'éducation à l'ergonomie. La théorie de la charge cognitive offre un cadre conceptuel précieux pour appréhender ces mécanismes, en s'appuyant sur un principe fondamental : l'architecture cognitive humaine opère comme un système de traitement et de transmission d'information aux ressources limitées (Chanquoy et al., 2007). Cette capacité mentale, véritable carburant de notre cognition, détermine notre aptitude à accomplir efficacement diverses tâches intellectuelles.

Les recherches dans ce domaine ont mis en lumière un constat essentiel : la surcharge cognitive peut altérer significativement les performances dans de multiples contextes, depuis l'apprentissage jusqu'aux interactions homme-machine. L'évaluation précise de cette charge mentale s'avère donc cruciale pour optimiser les environnements de travail et d'apprentissage, permettant ainsi une meilleure adaptation aux capacités cognitives humaines.

Dans cette perspective, la variabilité de la fréquence cardiaque (HRV) émerge comme un indicateur physiologique particulièrement prometteur. En tant que marqueur de l'activité du système nerveux autonome (SNA), elle offre une fenêtre unique sur la dynamique complexe entre ses composantes sympathique et parasympathique. Cette mesure non invasive et fiable permet de quantifier avec précision les variations subtiles de l'effort mental, ouvrant ainsi de nouvelles perspectives dans l'évaluation de la charge cognitive.

Notre étude, menée dans le cadre du cours d'ergonomie, propose d'explorer ces concepts à travers une expérimentation basée sur la tâche n-back, un paradigme classique dans l'étude de la charge cognitive. Cette approche expérimentale nous permettra d'examiner concrètement la relation entre effort mental et réponses physiologiques.

II. Méthodologie

1. Explication du protocole expérimental

La tâche de n-back est un paradigme expérimental couramment utilisé pour évaluer la mémoire de travail, un élément clé des fonctions cognitives. Elle est largement employée en neurosciences, en psychologie cognitive et dans des études cliniques afin d'examiner les mécanismes liés à la mémoire à court terme et à l'attention.

Dans cette expérience, deux participants étaient impliqués : l'un énonçait oralement les lettres d'une phrase à un rythme d'une lettre par seconde, tandis que l'autre devait les répéter. Selon les conditions de la tâche, il fallait soit répéter une lettre entendue au moment où l'énonciateur prononçait la lettre suivante (1-back), soit attendre un intervalle de deux lettres et répéter la lettre entendue deux positions plus tôt (2-back). Une troisième personne se chargeait de noter les erreurs du participants (deux types d'erreurs : oubli ou erreur de lettre).

Pour mesurer l'impact de ces tâches sur le rythme cardiaque, deux électrodes étaient placées sur le candidat, l'une sur la cheville gauche et l'autre sur le poignet gauche. Le protocole comprenait quatre étapes de cinq minutes chacune :

1. **Période de repos** : le candidat devait rester dans un environnement calme et se détendre.
2. **Tâche 1-back** : le candidat répétait la lettre entendue avec un décalage d'une position par rapport à la lettre énoncée..
3. **Tâche 2-back** : le candidat répétait la lettre entendue avec un décalage de deux positions.
4. **Période de récupération** : le candidat restait immobile et détendu.

Ce protocole visait à examiner les variations du rythme cardiaque en réponse à ces différentes étapes.

2. Les variables

La variable indépendante (VI) est le niveau de difficulté, définie par deux conditions expérimentales : repos (charge cognitive faible), 1-back (charge cognitive moyenne) et 2-back (charge cognitive élevée).

Notre étude s'appuie sur trois catégories de variables dépendantes pour évaluer la charge cognitive de manière exhaustive. Les variables physiologiques englobent la fréquence cardiaque moyenne (BPM) et l'analyse spectrale de la variabilité cardiaque à travers quatre bandes de fréquence : VLF ($<0,04$ Hz), LF ($0,04-0,15$ Hz), HF ($0,15-0,4$ Hz) et ULF ($<0,003$ Hz). L'analyse temporelle de la HRV inclut également le PNN50, mesurant la variabilité des intervalles R-R, et le RMSSD, indicateur de la régulation vagale. Ces mesures reflètent la réponse physiologique à différents niveaux de charge cognitive. Les variables du système nerveux autonome comprennent l'activité sympathique, l'activité vagale et leur équilibre (ratio LF/HF), offrant une vision complète de la réponse autonome au stress cognitif. Les variables comportementales, mesurées par le nombre d'erreurs et d'oublis, fournissent des indicateurs directs de la performance sous charge cognitive variable.

3. Outils utilisés

Le MP36 est un système d'acquisition de données physiologiques développé par Biopac. Il est conçu pour enregistrer des signaux biologiques, tels que : Électroencéphalogramme (EEG), Électrocardiogramme (ECG), Réponses électrodermales (EDA), Électromyogramme (EMG), Réponses respiratoires et flux sanguins.

Le logiciel Biopac Student Lab 4.1 est conçu pour accompagner le MP36. Il propose une interface utilisateur intuitive et des outils d'analyse spécifiques pour les signaux physiologiques.

Le logiciel initialement prévu pour l'analyse des résultats était Biopac. Ce logiciel permet de mesurer des changements de paramètres physiologiques dans des conditions

expérimentales précises. Il se compose de trois modules : l'ECG (électrocardiogramme), l'EDA (Activité électrodermale) et la respiration. Cependant, en raison de l'impossibilité de trouver dans le logiciel téléchargé des fonctionnalités similaires à celles présentées dans les diapositives d'exemple, nous avons opté pour une approche plus flexible avec la programmation en Python. Cette méthode a impliqué l'installation de bibliothèques spécifiques nécessaires à l'analyse des fichiers au format .acq (Cf. Annexe 1).

III. Analyse des résultats

1. Les variables physiologiques

La fréquence cardiaque moyenne varie selon les conditions pour le premier participant. Avec une fréquence moyenne de 70,3 bpm au repos, elle augmente lors des tâches 1-back (83,1) et 2-back (75,4) puis diminue à 68,6 bpm. La fréquence cardiaque moyenne du deuxième participant reste relativement stable entre chaque condition. En effet, au repos sa fréquence moyenne est de 95,4 bpm, lors des tâches N-back elle est de 95,4 bpm puis 96,1 bpm. Au cours de la récupération, le deuxième participant revient à une fréquence moyenne de 96 bpm.

2. Les variables du système nerveux autonome

- **L'activité sympathique :**

L'activité sympathique varie selon les conditions pour les deux participants. En effet, pour le participant 1, la valeur au repos est de 4814, elle augmente à 13292 (1-back) et atteint un pic de 31888 pour la tâche 2-back. Au cours de la récupération, le participant 1 obtient une valeur de 15434. Le participant 2 présente un schéma similaire avec une valeur de repos à 912, une légère augmentation pour la tâche 1-back (979) puis un pic à 4482 (tâche 2-back) avant de redescendre à 363. Chez les deux participants, il y a un pic de l'activité sympathique lors de la tâche demandant un effort cognitif élevé. Ceci indique une relation entre l'augmentation de l'activité sympathique et l'effort cognitif d'une tâche et permet d'expliquer la variabilité observée de la fréquence cardiaque.

- **L'activité vagale :**

L'activité vagale diffère en fonction des conditions pour les deux participants.

Pour le premier participant, l'activité vagale augmente de 1990 au repos à 5502 pour la tâche 1-back, diminue à 1221 pour la tâche 2-back, puis remonte à 6413 lors de la récupération. Cette dynamique suggère une régulation vagale active malgré la tâche exigeante.

Pour le deuxième participant, l'activité vagale augmente légèrement de 372 au repos à 398 pour la tâche de 1-back, atteint un maximum de 1819 pour la tâche de 2-back, avant de chuter drastiquement à 146 en récupération. Cette forte diminution pourrait indiquer une difficulté à rétablir un équilibre autonome après un effort cognitif intense.

- **La balance sympatho-vagale :**

Elle permet de mesurer l'équilibre entre le système sympathique et parasympathique et ainsi savoir quel système est prédominant selon les conditions. Le ratio calculé pour chaque condition et chaque participant est relativement stable. Le participant 1 présente un ratio de 2,41 pour toutes les conditions sauf celle du 2-back où le ratio est égal à 2,60. Le deuxième participant présente un ratio de 2,45 pour les deux premières conditions puis une légère augmentation pour la tâche 2-back (2,46) et au cours de la récupération (2,47). Le ratio supérieur à 2 indique que le système sympathique est prédominant lors des tâches demandant un effort cognitif et stressant.

3. Les variables comportementales

L'analyse des performances des participants lors des tâches N-back permettent d'évaluer l'impact de la charge cognitive sur les erreurs et les oublis, indicateurs directs de la mémoire de travail.

Pour la condition 1-back, les erreurs sont peu fréquentes, reflétant une charge cognitive modérée et une capacité de traitement efficace. Cependant, lors de la condition 2-back, une augmentation notable des oublis et des erreurs est observée chez les deux participants, suggérant une surcharge cognitive. Cette tendance est cohérente avec la demande plus complexe faite à la mémoire de travail et un effort mental accru.

Ces erreurs peuvent être corrélées avec les mesures physiologiques, notamment une augmentation de l'activité sympathique et une diminution de l'activité vagale, impliquant une mobilisation accrue des ressources cognitives et physiologiques pour répondre à la demande de la tâche. Cela reflète certaines limites de la mémoire de travail lorsque le niveau de difficulté dépasse les capacités habituelles de traitement.

En conclusion, les résultats comportementaux confirment l'impact de la charge cognitive sur la performance, avec une détérioration notable de la précision des réponses lors de tâches plus complexes. Ces observations appuient l'utilisation de la tâche N-back comme un outil efficace pour explorer les mécanismes de la mémoire de travail et les réponses au stress cognitif.

IV. Discussion

Les résultats mettent en évidence l'impact des tâches N-back sur les réponses physiologiques et cognitives des participants. La fréquence cardiaque moyenne augmente avec la charge cognitive pour le premier participant. Le deuxième montre une stabilité, suggérant des différences individuelles dans la gestion du stress cognitif. Cette variation peut être expliquée par le modèle de Yerkes et Dodson (1908), qui postule qu'une certaine activation physiologique est nécessaire pour une performance optimale, et qu'une surcharge

peut entraîner une détérioration des performances. L'augmentation de la fréquence cardiaque observée chez le premier participant pourrait refléter un stress accru dû à la charge cognitive, en ligne avec l'idée que des tâches mentalement exigeantes activent les systèmes physiologiques associés au stress (Lazarus & Folkman, 1984). Le second participant, plus stable, pourrait mieux réguler ses réponses physiologiques grâce à une gestion plus efficace du stress, ce qui concorde avec la notion de résilience cognitive.

L'activité sympathique atteint son maximum lors de la tâche 2-back, ce qui est cohérent avec les travaux de Selye (1976) sur la réponse au stress. Selon ce modèle théorique, une charge élevée implique une activation du système sympathique pour préparer l'organisme à la réponse au stress. Cette activation maximale en condition 2-back confirme que la tâche provoque un stress suffisamment intense pour entraîner la réponse physiologique associée à des défis cognitifs élevés.

Concernant l'activité vagale, elle varie selon les participants. Le premier participant présente une récupération efficace de l'activité vagale, ce qui peut refléter une bonne gestion du stress et une capacité de régulation émotionnelle. Ce phénomène est soutenu par les recherches de Porges (2007), qui réunit une activité vagale accrue à la récupération et à la régulation du stress. En revanche, le deuxième participant montre une diminution marquée de l'activité vagale, ce qui pourrait montrer une fatigue cognitive ou un stress résiduel. Selon le modèle de régulation du stress de Lazarus et Folkman (1984), une mauvaise régulation des réponses physiologiques pourrait indiquer un épuisement des ressources adaptatives, mis en évidence par une diminution de l'activité vagale.

Le ratio sympatho-vagal, stable mais élevé (supérieur à 2), reflète une prédominance du système sympathique, surtout dans la condition 2-back. Cette tendance correspond à un effort physiologique modéré à intense. Ce ratio est souvent utilisé pour mesurer l'équilibre entre le stress physiologique et la capacité de récupération (Thayer & Lane, 2000). Un ratio élevé propose que le système sympathique domine, ce qui est cohérent avec l'hypothèse selon laquelle une charge cognitive élevée, comme celle rencontrée lors de la tâche de 2-back, implique une réponse physiologique intense. Cela soutient l'idée d'un stress aigu lié à des tâches cognitives complexes, montrant une mobilisation importante des ressources physiologiques.

Les erreurs observées dans la condition 2-back soulignent les limites de la mémoire de travail sous forte charge cognitive, en lien avec une surcharge des capacités mentales. Cela soutient les modèles de la mémoire de travail développés par Baddeley et Hitch (1974), qui ont justifié que la mémoire de travail a une capacité limitée et devient facilement saturée sous de fortes exigences cognitives. La surcharge de la mémoire de travail, spécifiquement en condition de 2-back, peut impliquer une diminution de la performance et une augmentation des erreurs, ce qui est une indication d'une surcharge cognitive.

En conclusion, les résultats suggèrent que les tâches de N-back entraînent une activation physiologique marquée, avec des changements individuels dans la régulation du stress.

Pour une analyse plus complète de nos résultats, il serait intéressant de coupler la mesure de la variabilité de la fréquence cardiaque avec la mesure d'un autre paramètre physiologique, tel que les réponses électrodermales. Les réponses électrodermales sont d'excellents indicateurs pour la compréhension de l'activité du système sympathique. L'activité électrodermale correspond à une modification de l'activité électrique de la peau suite à la sécrétion de sueur par les glandes sudoripares. La mesure de cette activité est simple puisqu'elle consiste à placer deux électrodes sur les doigts (Droulers et al., 2013 ; Sequeira et Hondt, 2013). Elle constitue, avec l'activité cardiaque, un bon indicateur de l'activité sympathique dans des situations cognitivement chargées pouvant générer un certain stress.

Bibliographie

- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. Dans *The Psychology of learning and motivation* (p. 47-89). [https://doi.org/10.1016/s0079-7421\(08\)60452-1](https://doi.org/10.1016/s0079-7421(08)60452-1)
- Biggs, A., Brough, P., & Drummond, S. (2017). Lazarus and Folkman's Psychological Stress and Coping Theory. *The Handbook Of Stress And Health*, 349-364. <https://doi.org/10.1002/9781118993811.ch21>
- Chanquoy, L., Tricot, A., & Sweller, J. (2007). *La charge cognitive. Théorie et applications*. <https://doi.org/10.3917/arco.chanq.2007.01>
- Droulers, O., Lajante, M. et Badie, S. (2013) . Apport de la démarche neuroscientifique à la mesure des émotions : importation d'une nouvelle méthode de mesure de l'activité électrodermale. *Décisions Marketing*, N° 72(4), 87-101. <https://doi.org/10.7193/DM.072.87.101>.
- Sequeira, H. et D'Hondt, F. (2013) . Chapitre 6. L'activité électrodermale dans l'étude de la cognition. Dans Hot, P. et Delplanque, S. (dir.), *Electrophysiology de la cognition*. (p. 137 -156). Dunod. <https://doi.org/10.3917/dunod.hot.2013.01.0137>.
- Thayer, J. F., & Lane, R. D. (2000). A model of neurovisceral integration in emotion regulation and dysregulation. *Journal Of Affective Disorders*, 61(3), 201-216. [https://doi.org/10.1016/s0165-0327\(00\)00338-4](https://doi.org/10.1016/s0165-0327(00)00338-4)

Annexes

Annexe 1 : Code d'analyse

ergo-rapport 2

Annexe 2 : Tableaux de résultats

	participant 1			
	Repos	1-Back	3-back	récupération
Freq Moyennne (BPM)	70.3	83.1	75,4	68,6
Puissance en bande de très basse fréquence	3102957.8321491787	9990591.800416557	29083097.761070944	13787428.655445557
Puissance en bande de basse fréquence	4814.568910946116	13292.936713224715	31888.48190863153	15434.43502950578
Puissance dans la bande à haute fréquence	1990.17916445671	5502.049607140022	12221.738311993311	6413.24864392798
Puissance en bande de très haute fréquence				
Sympathique	4814.568910946116	13292.936713224715	31888.48190863153	15434.43502950578
Vagal	1990.17916445671	5502.049607140022	12221.738311993311	6413.24864392798
Balance sympatho-vagale	2.419163559206703	2.415997248729717	2.6091609143143777	2.4066484688877603
Nombre d'erreurs		3	6	
Nombre d'oublis		0	11	

	participant 2			
	Repos	1-Back	3-back	récupération
Freq Moyennne (BPM)	95,7	95,4	96,1	96
Puissance en bande de très basse fréquence	463060.0485352452	503286.8120172366	3470170.9855469177	158929.59192145482
Puissance en bande de basse fréquence	912.6819325197035	979.6215541562924	4482.13547426461	363.16841725376435
Puissance dans la bande à haute fréquence	372.09651364029764	398.36284707915934	1819.1186598934355	146.8728958544886
Puissance en bande de très haute fréquence				
Sympathique	912.6819325197035	979.6215541562924	4482.13547426461	363.16841725376435
Vagal	372.09651364029764	398.36284707915934	1819.1186598934355	146.8728958544886
Balance sympatho-vagale	2.452809685290373	2.4591187690794625	2.4639049519326983	2.4726714560974288
Nombre d'erreurs				
Nombre d'oublis				