



HAL
open science

Influence du stress sur l'apprentissage des étudiants en médecine humaine et vétérinaire

Mathilde César

► **To cite this version:**

Mathilde César. Influence du stress sur l'apprentissage des étudiants en médecine humaine et vétérinaire. Sciences du Vivant [q-bio]. 2023. dumas-04231307

HAL Id: dumas-04231307

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04231307>

Submitted on 6 Oct 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ANNEE 2023 - Thèse n°33

INFLUENCE DU STRESS SUR L'APPRENTISSAGE DES ÉTUDIANTS EN MÉDECINE HUMAINE ET VÉTÉRINAIRE

THÈSE

pour l'obtention du diplôme d'État de

DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

présentée et soutenue publiquement devant

l'UFR de Médecine de l'Université de Nantes

Le 10 juillet 2023

par

Mathilde, Alice, Ginette CÉSAR

Sous la direction de

Madame Anne Gogny

Président du jury : Monsieur Marc Gogny, Professeur à Oniris

Membres du jury : Monsieur Sébastien Assié, Maître de conférences à Oniris

Madame Anne Gogny, Praticien hospitalier à Oniris

ANNEE 2023 - Thèse n° 33

INFLUENCE DU STRESS SUR L'APPRENTISSAGE DES ÉTUDIANTS EN MÉDECINE HUMAINE ET VÉTÉRINAIRE

THÈSE

pour l'obtention du diplôme d'État de

DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

présentée et soutenue publiquement devant

l'UFR de Médecine de l'Université de Nantes

Le 10 juillet 2023

par

Mathilde, Alice, Ginette CÉSAR

Sous la direction de

Madame Anne Gogny

Président du jury : Monsieur Marc Gogny, Professeur à Oniris

Membres du jury : Monsieur Sébastien Assié, Maître de conférences à Oniris

Madame Anne Gogny, Praticien hospitalier à Oniris

Liste des membres du corps enseignant

Département BPSA Biologie, Pathologie et Sciences de l'Aliment		
Responsable : Emmanuel JAFFRES – Adjointe : Frédérique NGUYEN		
Nutrition et Endocrinologie		
Pharmacologie et Toxicologie	Jean-Claude DESFONTIS (Pr) Yassine MALLEM (Pr) Hervé POULIQUEN (Pr)	Antoine ROSTANG (MC) Meg-Anne MORICEAU (CERC) Martine KAMMERER (PR émérite)
Physiologie fonctionnelle, cellulaire et moléculaire	Jean-Marie BACH (Pr) Lionel MARTIGNAT (Pr) Julie HERVE (MC HDR) Grégoire MIGNOT (MC)	Solenn GAVAUD (CERC)
Histologie et anatomie pathologique	Marie-Anne COLLE (Pr) Jérôme ABADIE (MC)	Laetitia JAILLARDON (MC) Frédérique NGUYEN (MC)
Pathologie générale, microbiologie et immunologie		
Biochimie alimentaire industrielle	Carole PROST (Pr) Joëlle GRUA (MC)	Clément CATANEO (MC) Alix KHALIL (MC) Laurent LE THUAUT (MC)
Microbiotech	Hervé PREVOST (Pr) Géraldine BOUE (MC) Nabila HADDAD (MC) Emmanuel JAFFRES (MC)	Mathilde MOSSER (MC) Boris MISERY (MC) Raouf TAREB (MC) Quentin PRUVOST (CEC)
PACENV = VET1	Eléonore BOUGUYON (PRAG) Nicolas BROSSAUD (PRAG)	
Département SAESP Santé des Animaux d'Élevage et Santé Publique		
Responsable : Raphaël GUATTEO – Adjoint : Jean-Michel CAPPELIER		
Élevage, nutrition et santé des animaux domestiques	Nathalie BAREILLE (Pr) François BEAUDEAU (Pr) Christine FOURICHON (Pr) Lucile MARTIN (Pr)	Juan Manuel ARIZA CHACON (MC) Ségoène CALVEZ (MC HDR) Aurélien MADOUASSE (MC) Nora NAVARRO-GONZALES (MC)
Infectiologie	Alain CHAUVIN (Pr) François MEURENS (Pr) Emmanuelle MOREAU (Pr) Nathalie RUVOEN-CLOUET (Pr)	Albert AGOULON (MC) Suzanne BASTIAN (MC) Léa LOISEL (AERC) Kenny OBERLE (MC) Nadine RAVINET (MC)
Médecine des animaux d'élevage	Catherine BELLOC (Pr) Christophe CHARTIER (Pr) Raphaël GUATTEO (Pr) Anne RELUN (MC)	Sébastien ASSIE (MC) Isabelle BREYTON (MC) Mily LEBLANC MARIDOR (MC) Maud ROUAULT (AERC)
Hygiène et qualité des aliments	Jean-Michel CAPPELIER (Pr) Louis DELAUNAY (CERC) Bruno LE BIZEC (Pr) Marie-France PILET (Pr)	Fanny RENOIS-MEURENS (MC HDR) Sofia STRUBBIA (MC)

Département DSC Sciences cliniques		
Responsable : Catherine IBISCH – Adjoint : Marion FUSELLIER		
Anatomie comparée	Eric BETTI (MC) Claude GUINTARD (MC) Margarida RIBEIRO DA SILVA NEUNLIST (MC)	
Pathologie chirurgicale et anesthésiologie	Eric AGUADO (Pr) Olivier GAUTHIER (Pr) Eric GOYENVALLE (MC HDR)	Pierre MAITRE (MC) Caroline TESSIER (MC) Gwénola TOUZOT-JOURDE (MC) Claire DEFOURMSTRAUX (MC)
Dermatologie, parasitologie des carnivores et des équidés, mycologie	Jacques GUILLOT (Pr) Emmanuel BENSIGNOR (Pr Ass)	Sabrina VIEU (AERC)
Médecine interne, imagerie médicale et législation professionnelle vétérinaire	Anne COUROUCE (Pr) Jack-Yves DESCHAMPS (Pr) Françoise ROUX (Pr) Juan HERNANDEZ-RODRIGUEZ (Pr Ass) Nora BOUHSINA (MC)	Nicolas CHOUIN (MC) Amandine DRUT (MC) Marion FUSELLIER-TESSON (MC HDR) Catherine IBISCH (MC) Aurélia LEROUX (MC) Odile SENECA (MC)
Biotechnologies et pathologie de la reproduction	Jean-François BRUYAS (Pr) François FIENI (Pr)	Djemil BENCHARIF (Pr) Lamia BRIAND (MC HDR)
Département GPA Génie des procédés alimentaires		
Responsable : Sébastien CURET-PLOQUIN – Adjointe : Vanessa JURY		
Lionel BOILLEREAUX (Pr) Sébastien CURET-PLOQUIN (Pr) Marie DE LAMBALLERIE (Pr) Francine FAYOLLE (Pr) Michel HAVET (Pr)	Alain LEBAIL (Pr) Olivier ROUAUD (Pr) Kévin CROUVISIER-URION (MC) Vanessa JURY (MC HDR) Emilie KORBEL (MC)	Jean-Yves MONTEAU (MC HDR) Eve-Anne NORWOOD (MC) Raphaël PORYLES (MC) Laurence POTTIER (MC) Cyril TOUBLANC (MC)
PAC-ING	Cyril Gaillard (PCEA)	
Département MSC Management, statistiques et communication		
Responsable : Samira ROUSSELIERE – Adjointe : Véronique CARIOU		
Mathématiques, statistiques, informatique	El Mostafa QANNARI (Pr émérite) Chantal THORIN (Pr Ag) Evelyne VIGNEAU (Pr)	Véronique CARIOU (Pr) Benjamin MAHIEU (MC) Michel SEMENOU (MC)
Economie, gestion, législation	Jean-Marc FERRANDI (Pr) Pascal BARILLOT (MC) Ibrahima BARRY (MC) Florence BEAUGRAND (MC)	Sibylle DUCHAINE (MC) Sonia MAHJOUB (MC) Samira ROUSSELIERE (MC) Christophe PAPINEAU (Ens. Cont.)
Langues et communication	Marc BRIDOU (PLPA) David GUYLER (Ens. Cont.) Nathalie GOODENOUGH (PCEA) Patricia JOSSE (Ens. Cont.)	Shaun MEEHAN (Ens. Cont.) Linda MORRIS (PCEA) Ian NICHOLSON (ENS. Cont.)

Pr Ag : Professeur Agrégé, Pr : Professeur, MC : Maître de Conférence, MCC : MC contractuel,
 PLPA : Professeur Lycée Professionnel Agricole, PCEA : Professeur Certifié Enseignement Agricole, HDR :
 Habilité à Diriger des Recherches, CERC : Chargé d'Enseignement et de Recherche Contractuel, Ens.
 Cont. : Enseignant Contractuel

Protection des droits d'auteur et plagiat

La reproduction d'extraits de cette thèse est autorisée avec mention de la source. Toute reproduction partielle doit être fidèle au texte utilisé. Cette thèse devra donc être citée en incluant les éléments bibliographiques suivants :

- Nom et prénoms de l'auteur : Mathilde César
- Année de soutenance : 2023
- Titre de la thèse : Influence du stress sur l'apprentissage des étudiants en médecine humaine et vétérinaire.
- Intitulé du diplôme : Thèse de doctorat vétérinaire
- Université de soutenance : Faculté de Médecine de Nantes
- Ecole de soutenance : ONIRIS - Ecole Nationale Vétérinaire, Agroalimentaire et de l'Alimentation Nantes Atlantique
- Nombre de pages : 104

Table des matières

INTRODUCTION	21
1 L'APPRENTISSAGE OU L'ACQUISITION DE COMPETENCES	23
1.1 Approche par programme et approche par compétence	23
1.1.1 Les compétences selon Jacques Tardif	23
1.1.2 Les référentiels-métier	23
1.1.3 Une définition de l'apprentissage	27
1.2 Les taxonomies d'objectifs d'apprentissage de Bloom	27
1.2.1 La taxonomie du domaine cognitif.....	28
1.2.2 La taxonomie du domaine psychomoteur	29
1.3 Apprentissage dans le domaine cognitif	31
1.3.1 La perception.....	31
1.3.2 L'attention	32
1.3.3 La mémoire.....	33
1.3.4 Le raisonnement.....	36
1.4 Apprentissage dans le domaine psychomoteur	40
1.4.1 La proprioception	40
1.4.2 Le mouvement.....	41
1.4.3 Développer ses habiletés manuelles.....	43
1.4.4 L'attention dans les tâches motrices	44
1.5 Apprentissage dans le domaine socio-affectif	44
1.5.1 Compétence émotionnelle.....	45
1.5.2 Entretenir sa motivation	45
2 LE STRESS	47
2.1 Approche historique de la notion de stress	47
2.1.1 Définitions du stress.....	47
2.1.2 Stress et homéostasie	48
2.2 Caractérisation du stress	48
2.2.1 Stress d'origine intrinsèque et stress d'origine extrinsèque	48
2.2.2 Le stress aigu, le stress chronique et la résignation apprise.....	49
2.2.3 Le stress organisationnel.....	50
2.2.4 Le <i>burnout</i>	50

2.3	Physiopathogénie du stress	51
2.3.1	Réponse somatique réflexe.....	51
2.3.2	Activation orthosympathique précoce	51
2.3.3	Intégration centrale et réponse corticosurrénalienne retardée.....	52
2.3.4	Phase d'épuisement et stress chronique	57
2.4	Évaluation du stress.....	60
2.4.1	Évaluation des variations des paramètres physiques	61
2.4.2	Évaluation des variations des paramètres physiologiques et biologiques	62
2.4.3	Évaluation des variations du cortisol	67
2.4.4	Évaluations psychométriques à partir de questionnaires.....	68
3	INFLUENCE DU STRESS SUR L'APPRENTISSAGE	71
3.1	Influence des conditions associées au stress sur l'apprentissage.....	72
3.1.1	Influence du délai entre le stress aigu et l'apprentissage.....	72
3.1.2	Influence du lien entre le stress aigu et le contexte d'apprentissage	73
3.1.3	Influence de la nature du facteur de stress lors d'un stress aigu.	75
3.1.4	Influence de la nature chronique du stress	75
3.1.5	Analogies avec le renforcement négatif du conditionnement opérant	75
3.1.6	Applications en pédagogie	76
3.2	Influence du stress sur les modes d'apprentissage.....	76
3.3	Le stress en contexte scolaire.....	77
3.4	Influence du stress sur l'apprentissage moteur	78
3.4.1	L'apprentissage de la motricité de l'école primaire à l'enseignement supérieur	78
3.4.2	L'apprentissage moteur en chirurgie	79
3.5	Intérêt de la simulation	80
3.5.1	Intérêt de la simulation sur l'apprentissage	80
3.5.2	Intérêt de la simulation dans la gestion de l'anxiété et du stress	82
3.6	Recommandations pratiques pour l'enseignant	83
	CONCLUSION	87

Table des annexes

Annexe 1 - Auto questionnaire PSS-4 (Perceived Stress Scale) permettant d'évaluer le stress perçu.....	97
Annexe 2 - Auto Questionnaire STAI (State Trait Anxiety Inventory) permettant la mesure de l'anxiété au quotidien (Trait) et dans une situation précise (State)	99

Table des figures

Figure 1 - Acquérir le savoir agir au travers de l'exemple d'une intervention chirurgicale. ...	25
Figure 2 - La pyramide des compétences selon Bloom, 1956.....	28
Figure 3 - La pyramide des objectifs cognitifs révisée en 2001	29
Figure 4 - La pyramide des objectifs psychomoteurs (1972)	30
Figure 5 - La pyramide des objectifs du domaine affectif (1956)	31
Figure 6 - Le fonctionnement de la mémoire selon le modèle MNESIS (Eustache et al. 2016)	34
Figure 7 - Genèse et réalisation d'un mouvement volontaire en trois phases (Delignières 2005)	43
Figure 8 - Localisation des structures anatomiques du système limbique impliquées dans le stress.....	53
Figure 9 - Schématisation du parcours de l'information de la perception du facteur de stress (stimulus) à la réaction de l'organisme allant de la mise en alerte à la réalisation d'un mouvement.....	54
Figure 10 - Schéma des échanges d'informations au sein du système limbique à la suite d'un stimulus et rétrocontrôles existants une fois le stress déclenché.....	54
Figure 11 - Physiopathogénie du stress et ses conséquences cliniques et biochimiques	57
Figure 12 - Exemple de dispositif de suivi oculaire fixe	62
Figure 13 - Exemple de dispositif de suivi oculaire portatif	62
Figure 14 - Exemple de dispositif de mesure de la conductance cutanée :.....	64
Figure 15 - Exemple de dispositif de mesure de la conductance cutanée	64
Figure 16 - Diagramme des cinq types d'ondes cérébrales	65
Figure 17 - Exemple de dispositif de mesure de l'activité neuronale cérébrale utilisé pour établir un électro-encéphalogramme (casque Emotiv EPOQ®).....	66
Figure 18 - Influences du stress sur l'apprentissage selon le délai entre le début du stress et le début de l'apprentissage.....	73

Table des tableaux

Tableau 1 - Effets généraux du stress chronique	58
Tableau 2 - Classement des paramètres utilisables pour évaluer le stress en fonction de leur degré de fiabilité, de leur fréquence d'exploitation dans la littérature et de leur caractère intrusif pour l'individu (Sharma et Gedeon 2012)	61
Tableau 3 - Constantes physiques utilisables pour évaluer le stress.....	61
Tableau 4 - Constantes biologiques utilisables pour évaluer le stress	63
Tableau 5 – Paramètres biochimiques utilisables pour évaluer le stress	67
Tableau 6 - Pourcentage de mots neutres, à connotation positive ou négative, dont les groupes soumis à un stress ou non sont parvenus à se rappeler (Jelici <i>et al.</i> 2004).....	74
Tableau 7 - Tableau récapitulatif des niveaux de stress, d'anxiété et des performances d'étudiants en médecine soumis ou non à un encadrement par un senior lors de la réalisation d'exercices d'entraînement à la laparoscopie (Flinn <i>et al.</i> 2016)	79
Tableau 8 - Nombre moyen de mouvements effectués par des étudiants médecins lors de la réalisation de nœuds de chirurgiens dans le cadre d'un exercice de simulation (Porte <i>et al.</i> 2007).....	81
Tableau 9 - Tableau récapitulatif du stress perçu et de l'anxiété des infirmières, avant puis une semaine après la réalisation d'exercices de simulation en situations critiques(Couarraze <i>et al.</i> 2023).....	82

INTRODUCTION

La formation professionnelle nécessite d'acquérir un certain nombre de concepts et de compétences. Dans le domaine médical, une partie de cet apprentissage est réalisée sur le vivant, ce qui représente une source de stress pour l'étudiant. De nos jours, le stress est un élément pris en compte dans l'évaluation du bien-être de l'étudiant. Cet aspect revêt une importance croissante dans la société en général (Belghith et Ferry 2015). En 2018, une étude a été menée par l'IVSA (Association internationale des étudiants vétérinaires) et Vétos-Entraide sur des étudiants vétérinaires (Descours-Renvier 2022). Elle révèle un nombre inquiétant d'étudiants en souffrance, dont le mal-être ressenti a tendance à croître au cours du cursus. Les étudiants craignent de manquer de compétences au moment de leur diplomation et cette crainte s'accroît tout au long de leur scolarité. Le nombre de facteurs de stress en cause est important (pression de ne pas réussir les examens, sentiment de ne pas être bons, charge de travail et responsabilité importante) et l'on constate que 15 % des étudiants vétérinaires sortant des écoles se tournent désormais vers une autre voie que la pratique libérale. Phénomène encore plus inquiétant, de nombreux abandons de la pratique sont observés quelques années après la diplomation.

La formation professionnelle nécessite d'acquérir un certain nombre de concepts et de compétences. Les formateurs et les enseignants s'efforcent de placer les élèves et étudiants dans un contexte favorable à l'apprentissage depuis le cycle 1, jusqu'à la dernière année de leur cursus respectif (Prokofieva *et al.* 2017).

Dans le domaine médical, une partie de l'apprentissage est réalisée sur le vivant, ce qui représente une source de stress pour l'étudiant par peur de mal réaliser les soins ou de provoquer de la douleur chez l'animal. Le stress est décrit de nombreuses manières différentes selon le point de vue choisi. Il peut être défini d'un point de vue purement biologique ou sur la base du ressenti personnel d'un individu, mais aussi selon le contexte, professionnel ou personnel. Quel que soit le mode choisi pour le décrire, le stress est à l'origine d'une cascade de mécanismes susceptibles d'avoir une influence favorable ou défavorable sur l'apprentissage.

En médecine humaine et vétérinaire, l'apprentissage peut être divisé en trois grands axes (Roulin *et al.* 2000) :

- le domaine cognitif, qui correspond à l'accumulation de connaissances sémantiques, via la mémorisation, mais qui inclut aussi le raisonnement. Ce dernier a un rôle prépondérant dans l'exercice du futur médecin ou vétérinaire ;
- le domaine psychomoteur, qui correspond à l'apprentissage des gestes techniques médicaux ou chirurgicaux et au développement de la motricité. En effet, dans sa pratique quotidienne, le médecin ou le vétérinaire réalise des gestes techniques, tels que des ponctions veineuses ou des interventions chirurgicales, qui ont une courbe d'apprentissage longue et nécessitent souvent de l'entraînement et de la dextérité ;
- le domaine affectif, qui correspond au développement et à la gestion des émotions. Au cours de sa formation et lorsqu'il exerce en pratique professionnelle, les personnels soignants en médecine humaine et les vétérinaires font face à des

situations dont certaines sont émotionnellement fortes. Pour y faire face, il est indispensable de savoir gérer ses émotions, afin d'être en mesure de raisonner même dans des situations d'urgence ou de pression exercée par les proches ou les propriétaires d'animaux.

Si les connaissances sur les mécanismes du stress et de l'apprentissage se sont développées ces dernières années, notamment depuis l'accès à des outils d'exploration comme l'imagerie par résonance magnétique, les effets précis du stress sur l'apprentissage ne sont pas encore complètement élucidés. Or, si les relations entre le stress et l'apprentissage sont perçues de façon intuitive par les formateurs et enseignants, il n'existe pas d'approche standardisée validée permettant d'optimiser l'environnement de formation pour créer les conditions les plus favorables possibles pour l'apprenant, notamment dans le contexte chirurgical où la peur de l'erreur, susceptible d'engendrer des conséquences graves pour le patient, peut générer une mise en retrait intellectuelle de l'apprenant et limiter ses capacités à tirer parti des activités proposées.

Nous nous intéresserons ici aux effets du stress sur l'apprentissage dans le cadre de la formation médicale, en médecine humaine et vétérinaire. Dans un premier temps, nous définirons l'apprentissage ou l'acquisition de compétences chez un apprenant « sain », qu'elles soient cognitives, motrices ou affectives. Dans un second temps, nous décrirons le stress et ses mécanismes. Enfin, nous développerons l'influence du stress sur l'apprentissage moteur et cognitif chez les étudiants poursuivant des études de médecine humaine et vétérinaire.

1 L'APPRENTISSAGE OU L'ACQUISITION DE COMPÉTENCES

1.1 Approche par programme et approche par compétence

En formation professionnelle, la traditionnelle approche par programme d'enseignement, centrée surtout sur l'enseignant, a été peu à peu remplacée, à partir des années 1990 notamment, par une approche par compétence, centrée sur l'apprenant, pour décrire les comportements professionnels attendus à l'obtention du diplôme. Dans ce contexte, il est difficile de parler d'apprentissage dans l'enseignement supérieur sans parler de la notion de compétence. Cette notion, d'abord mise en avant par Benjamin Bloom, fut au fil du temps reprise, modifiée et adaptée afin d'être utilisée dans l'élaboration de référentiels de programme, notamment celui des études vétérinaires. La définition la plus consensuelle de la notation de compétence professionnelle est celle qu'a proposée le québécois Jacques Tardif à partir de 1993.

1.1.1 Les compétences selon Jacques Tardif

En 1993 puis en 2003, Jacques Tardif tente de redéfinir la notion de compétence car selon lui, « *le concept de compétence est extrêmement polysémique et, malheureusement, sa polysémie semblerait croître avec le temps* ». Il définit la compétence comme « *un savoir-agir complexe prenant appui sur la mobilisation et l'utilisation efficace des ressources* » (Tardif 2003) ; elle est selon lui un concept flexible et adaptable. L'élaboration d'une formation est menée à bien en hiérarchisant les objectifs pour faciliter l'apprentissage, tout en veillant à ne pas les confondre avec la compétence elle-même qui constitue une finalité.

Si la connaissance reste l'élément majeur de la compétence, dans les faits, celle-ci fait appel à trois domaines interconnectés : le domaine cognitif, le domaine affectif et le domaine psychomoteur. Ces trois domaines, qui sous-tendent le « savoir-agir », sont souvent qualifiés de « savoirs, savoir-faire et savoir-être », ou encore de « connaissances, habiletés et attitudes ».

Cependant, en situation professionnelle, la variété des comportements attendus du diplômé pour être capable d'agir efficacement et de résoudre le problème qui lui est posé nécessite des étapes intermédiaires, qui permettent de décliner la compétence en différentes composantes, pour mieux cerner ce que l'apprenant doit acquérir dans chacun des trois domaines. C'est la base de l'établissement des « référentiels-métier », dont l'ossature principale est le référentiel de compétence.

1.1.2 Les référentiels-métier

Ainsi, tout métier dont l'apprentissage est décliné selon l'approche par compétence fait l'objet de trois référentiels, structurés peu ou prou de la même façon, même si les termes employés peuvent varier.

1.1.2.1 Le référentiel d'activités professionnelles

Le **référentiel d'activités professionnelles**, document assez général et souvent bref, de quelques pages, qui définit les différents champs d'action du professionnel formé et qui décrit ses missions et activités en lien avec les attentes sociétales et celles de ses clients.

Dans certains référentiels, ce document prend le nom de recueil des **situations professionnelles significatives**. Cette étape a permis d'élaguer des programmes de formation nombre d'éléments préalablement enseignés aux étudiants, mais qui n'avaient finalement qu'un lointain rapport avec l'exercice professionnel visé. Dans un contexte de restrictions budgétaires et d'adéquation de la formation au marché de l'emploi, elle est essentielle.

1.1.2.2 Le référentiel de compétences

Le référentiel de compétences est ensuite le principal document qui décline et découpe la « compétence professionnelle », le « savoir-agir » de Tardif, dans les différents champs d'intervention introduits par le référentiel d'activités professionnelles. Il se présente sous la forme d'une structure arborescente qui reprend le plus souvent de trois à quatre niveaux imbriqués.

- Les **champs de compétence**, parfois appelés macro-compétences, sont en lien direct avec les secteurs d'activité professionnelle décrits dans le premier référentiel. Dans la plupart des métiers, ils se divisent en deux groupes : les champs de compétences spécifiques du métier concerné, qui le caractérisent, et les compétences transversales, communes à la plupart des métiers, mais qu'il est impératif de mettre en place pour faire acquérir aux apprenants le « savoir-agir » efficace (Tardif et Dubois 2013)(Figure 1). Un excellent chirurgien qui serait incapable de travailler en équipe et de communiquer avec son client ne pourrait pas être déclaré totalement compétent. C'est une évidence qui a cependant permis d'introduire peu à peu dans la formation professionnelle, longtemps cantonnée aux domaines scientifiques et techniques, de nouveaux champs dont les *soft-skills*.
- Les **compétences** (au pluriel) décrivent de façon générique, dans chacun des champs de compétence, les briques à acquérir par le futur professionnel pour lui permettre la résolution de la partie correspondante du problème auquel il est confronté. Par exemple, dans le cadre d'un champ de compétence en lien avec les activités de conseil et de prévention, il peut être nécessaire d'acquérir des compétences de recueil d'informations, d'analyse de la situation, de compréhension des enjeux, ...
- À ce niveau de l'arborescence, les compétences ne sont pas directement évaluables car elles restent encore trop générales. Il est alors nécessaire de les découper plus avant en **capacités** opérationnelles, décrites en des termes mesurables, donc évaluables par le formateur et, si possible, par l'apprenant lui-même au cours de sa formation. Au fur et à mesure que les différentes capacités décrites sont considérées comme acquises par l'apprenant, la compétence sus-jacente se construit peu à peu. Pour permettre l'évaluation de l'acquisition de ces capacités, la plupart des référentiels sont assortis, pour chacune d'entre elles, des **critères** et des **indicateurs** qui permettent de savoir si l'objectif est atteint ou non.

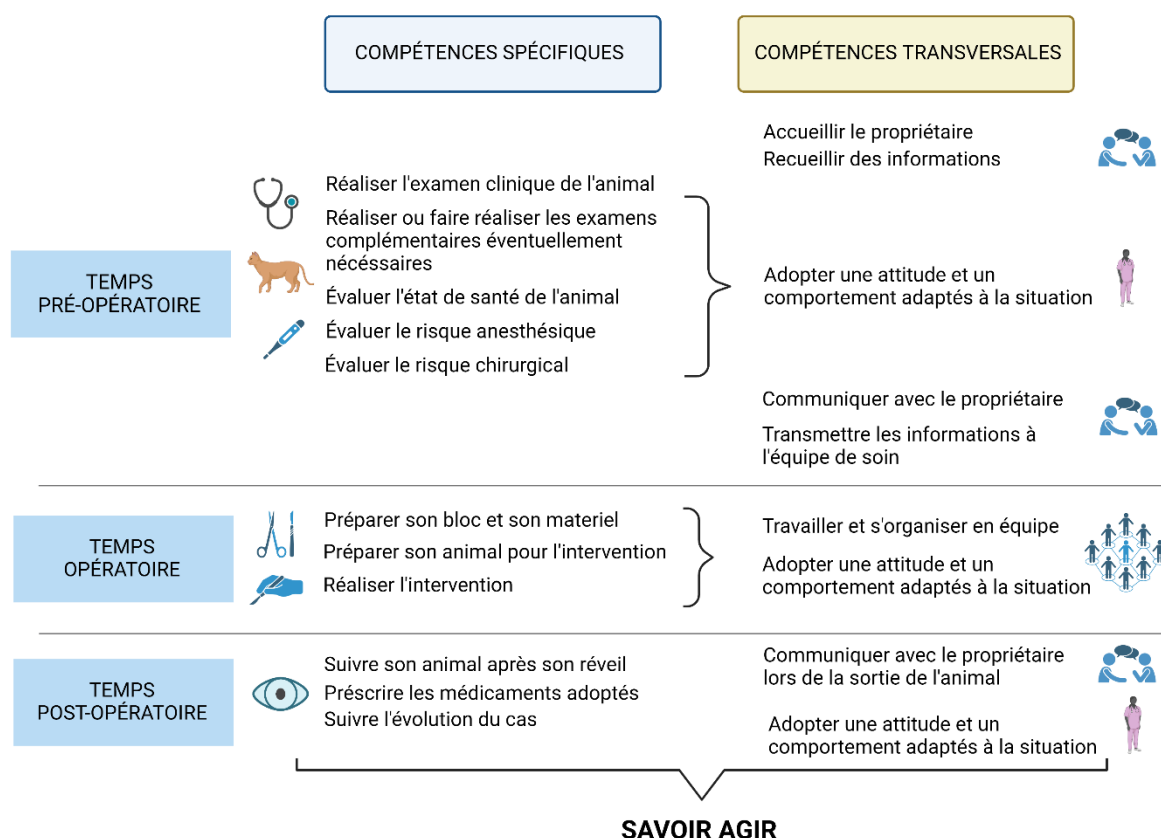


Figure 1- Acquérir le savoir agir au travers de l'exemple d'une intervention chirurgicale.

1.1.2.3 Le référentiel de formation

Le troisième et dernier référentiel, dit référentiel de formation, est l'outil qui décrit la structure du cursus de formation, c'est-à-dire la liste des unités d'enseignement, des modules, en bref la façon dont les périodes de formation, au cours de l'année scolaire par exemple, sont organisées et s'enchaînent jusqu'à la délivrance du diplôme. Chacune de ses parties décrit alors ses objectifs généraux (en lien avec un champ de compétences et les compétences qui le composent), son programme (ou *syllabus* anglo-saxon) et les modalités avec lesquelles les capacités seront évaluées. Dans ce référentiel, les capacités sont souvent décrites sous le terme d'objectifs d'apprentissage ou objectifs opérationnels. Ce sont ces objectifs d'apprentissage qui sont enfin classés en fonction des trois domaines, cognitif, affectif et moteur.

1.1.2.4 Le référentiel de compétences à l'issue des études vétérinaires

À partir des années 2010, sous la pression du système européen d'accréditation des formations vétérinaires, il a été demandé aux facultés et aux écoles vétérinaires européennes de passer d'une approche par programme à une approche par compétence, donc de se doter de tels référentiels (réduits souvent en anglais au terme de *Day-one skills*, les compétences du diplômé au jour de l'obtention de son diplôme).

En France, le travail a commencé en 2015. Il a été directement piloté par le ministère de tutelle des écoles vétérinaires (le ministère chargé de l'Agriculture), en mode projet et après création

de divers groupes de travail rassemblant des enseignants (enseignants-chercheurs et praticiens hospitaliers) des quatre écoles vétérinaires, les instances professionnelles (Ordre et différents syndicats) et des vétérinaires praticiens dans les différents secteurs d'activité. Le référentiel d'activités professionnelles et le référentiel de compétences sont parus en 2017 et ont été annexés à l'arrêté ministériel de 2007 qui définit les études vétérinaires, chaque école vétérinaire restant libre d'élaborer son référentiel de formation, dès l'instant qu'il garantit de conduire aux compétences définies et qu'il est conforme à l'arrêté.

Le **référentiel de compétences à l'issue des études vétérinaires** comprend huit macro-compétences (les champs de compétence évoqués plus haut) divisées en deux catégories :

- quatre macro-compétences spécifiques, propres à la profession :
 - Conseiller et prévenir ;
 - Etablir un diagnostic ;
 - Soigner et traiter ;
 - Agir pour la santé publique ;
- et quatre macro-compétences transversales :
 - Travailler en entreprise et gérer une entreprise ;
 - Communiquer ;
 - Agir en scientifique ;
 - Agir de manière responsable.

Chacune de ces macro-compétences est déclinée en plusieurs compétences, elles-mêmes déclinées en capacités, qui décrivent une situation à maîtriser ou une action à réaliser. Enfin, ces capacités sont assorties des **connaissances sous-jacentes** partout où elles ont paru nécessaires. Le référentiel précise également les indicateurs qui doivent aider à l'évaluation des étudiants, à travers les signes observables traduisant la mise en œuvre effective de la compétence.

Pour chaque capacité, un niveau de performance est précisé, correspondant à ce que tous les étudiants doivent atteindre, selon la typologie suivante :

- « A vu » = l'étudiant a vu ou a vu faire et sait expliquer ;
- « A fait » = l'étudiant a fait avec une supervision directe ;
- « Sait faire » = l'étudiant est autonome.

La compétence conçue comme un savoir-agir correspond au fait que l'étudiant ne peut se contenter de connaître la théorie, il doit aussi savoir où et comment la retrouver, il doit pouvoir l'utiliser correctement et raisonner. L'étudiant doit pouvoir être à l'écoute et développer sa personnalité tout au long de son cursus, enfin il doit s'organiser efficacement et développer son habileté manuelle.

L'une des grandes caractéristiques des professions médicales est que la mise en place des trois raisonnements successifs qui en sous-tendent l'efficacité, le raisonnement diagnostique, le raisonnement pronostique et le raisonnement thérapeutique, doivent très souvent se mettre en place en situation d'incertitude et, parfois, en situation d'urgence où une prise de décision ne peut pas être différée.

Le référentiel en tient compte et l'on retrouve donc, dans la façon dont il a été réfléchi, les trois piliers interconnectés de la compétence que sont les domaines cognitif, affectif et psychomoteur, appendus à chacune des capacités qu'il contient.

En structurant l'apprentissage de cette manière, le mode d'évaluation doit être ajusté. Il n'est pas adapté d'évaluer l'étudiant sur ses connaissances uniquement, bien qu'il soit parfois difficile de trouver un mode d'évaluation juste pour valider l'acquisition de compétence dans le domaine clinique (Wass *et al.* 2001). L'erreur à ne pas reproduire, dans tous les cas, serait de comparer un étudiant à un autre, au lieu d'utiliser les critères et les indicateurs d'évaluation définis dans le référentiel.

1.1.3 Une définition de l'apprentissage

Le terme d'apprentissage est lui aussi polysémique et a fait l'objet de nombreuses définitions très différentes. Cependant, en formation professionnelle et en approche par compétence, l'apprentissage devient, à l'évidence, le processus par lequel se construit la compétence. Une définition déjà ancienne a été proposée par De Landsheere en 1969 et correspondait déjà assez bien à l'acquisition de la compétence. Selon lui, l'apprentissage est le « *processus plus ou moins durable par lequel des comportements nouveaux sont acquis ou des comportements déjà présents sont modifiés en interaction avec le milieu ou l'environnement.* » (De Landsheere, 1992). Cette approche exprime finalement l'apprentissage en des termes probabilistes. Elle pourrait être reformulée ainsi : l'apprentissage serait la modification de la probabilité d'expression d'un comportement adapté face à une situation professionnelle.

Dans le cadre de notre travail, cette façon de définir l'apprentissage prend toute son importance si l'on considère qu'un étudiant peut être parfaitement capable de décrire un geste chirurgical (domaine cognitif), voire même de le réaliser dans de bonnes conditions sur des modèles inertes (domaine psychomoteur), mais devenir totalement incapable de le produire correctement au moment opportun, soit parce qu'il ne l'a pas assez reproduit précédemment (domaine psychomoteur là-encore, qui exige le plus souvent de nombreuses répétitions d'un même geste avant acquisition durable), soit parce qu'il est en situation d'urgence et/ou de stress sur un animal vivant (domaine affectif).

1.2 Les taxonomies d'objectifs d'apprentissage de Bloom

Les taxonomies de Bloom (Bloom, 1956) introduisent déjà la notion de compétences en classifiant les objectifs à atteindre selon différents niveaux de complexité. Bloom s'intéressait à l'élaboration d'une méthode de planification de l'enseignement pouvant faciliter l'apprentissage des étudiants. Pour y parvenir, il fixe des objectifs pédagogiques en prenant en compte le fait que chaque niveau supérieur requiert d'utiliser les acquis du précédent avant d'atteindre la maîtrise de la compétence. Avec son équipe, il a donc décliné trois taxonomies d'objectifs d'apprentissage, toujours utilisées et en vigueur de nos jours, même si elles ont fait l'objet d'améliorations successives.

1.2.1 La taxonomie du domaine cognitif

Pour le domaine cognitif, les six niveaux principaux sont, du plus simple au plus complexe : Connaissance, compréhension, application, analyse, synthèse, évaluation (Figure 2).

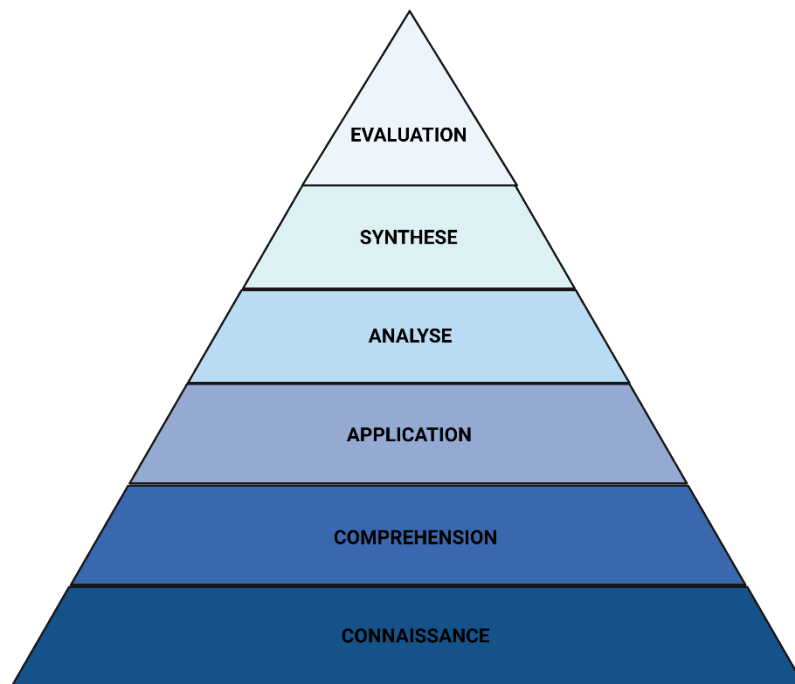


Figure 2 - La pyramide des compétences selon Bloom, 1956

Ainsi, la connaissance est une étape de mémorisation, d'apprentissage de la théorie. Dans un deuxième temps, il s'agit de comprendre cette théorie en la reformulant avec ses propres mots. Vient ensuite l'application, qui transfère la théorie vers une situation pratique. Une étape d'analyse s'ajoute pour établir des liens entre la pratique et les objectifs inférieurs, plus théoriques. La dernière étape avant l'évaluation est une synthèse qui permettra de faire appel à tout ce qui a été vu précédemment et ainsi de réutiliser de façon plus libre les acquis dans un processus de création.

En 2001, une équipe de psychologues cognitifs menée par Lorin Anderson (lui-même élève de Bloom) revoit la taxonomie de Bloom. La première modification majeure concerne la terminologie. Par exemple l'objectif « connaissance » devient « se souvenir » pour mieux centrer l'action sur l'apprenant et décrire l'objectif à maîtriser dans ce niveau. De plus, Lorin Anderson modifie également l'ordre de certains objectifs (Figure 3). En considérant que la pensée créative est une notion plus complexe que l'évaluation, qui est une forme d'autocritique ou de critique, il place au sommet de cette nouvelle version de la pyramide de Bloom la synthèse qui a été renommée : « créer » (Anderson *et al.* 2009).

La révision de la taxonomie de Bloom permet de faciliter son utilisation dans l'élaboration de programmes de l'enseignement supérieur.

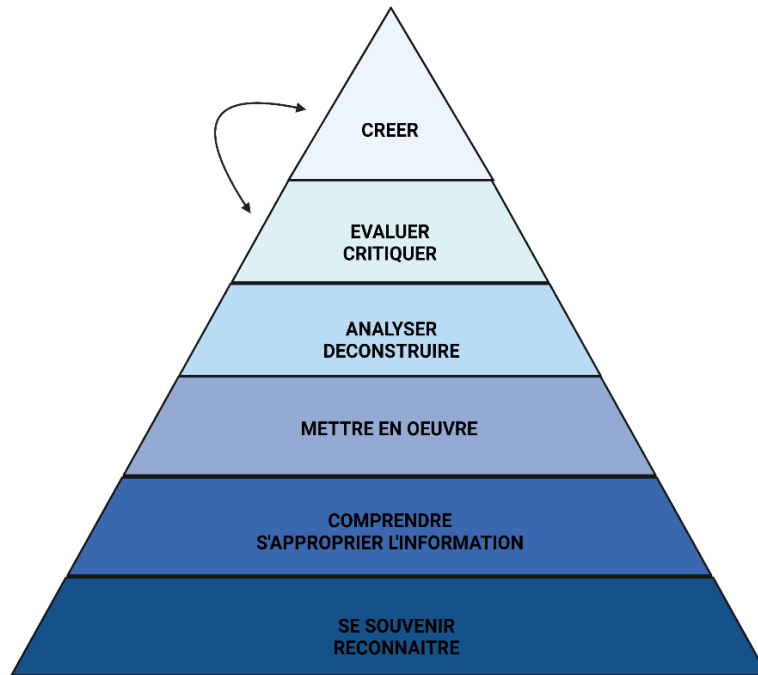


Figure 3 - La pyramide des objectifs cognitifs révisée en 2001

1.2.2 La taxonomie du domaine psychomoteur

Dans l'équipe de Bloom, Harrow s'est attelé au domaine psychomoteur. La taxonomie qu'il a produite est sans doute celle qui reste la moins consensuelle et qui a fait l'objet du plus grand nombre de déclinaisons (Harrow, 1956) (Figure 4). Elle reste toutefois celle qui est systématiquement citée en première intention. Dans sa version la plus simple, elle comporte trois niveaux.

- Le plus bas niveau est la **perception** du geste à réaliser, qui inclut sa représentation dans l'espace et le temps, et son application à la situation concrète dans laquelle il est censé être produit. Dans cette échelle, il est alors souvent associé à un objectif cognitif connexe, car il peut entrer dans le cadre d'une procédure standard qu'il faut connaître.
- Le second niveau est sa **reproduction**, souvent par imitation en début de formation, puis après de nombreuses répétitions, son amélioration progressive qui permet de le reproduire en situation concrète.
- Enfin, la phase de **perfectionnement** caractérise le geste maîtrisé, qui amène le plus souvent le professionnel à mettre en place sa propre gestuelle, ses propres améliorations, dans une recherche d'efficacité et avec une posture professionnelle.

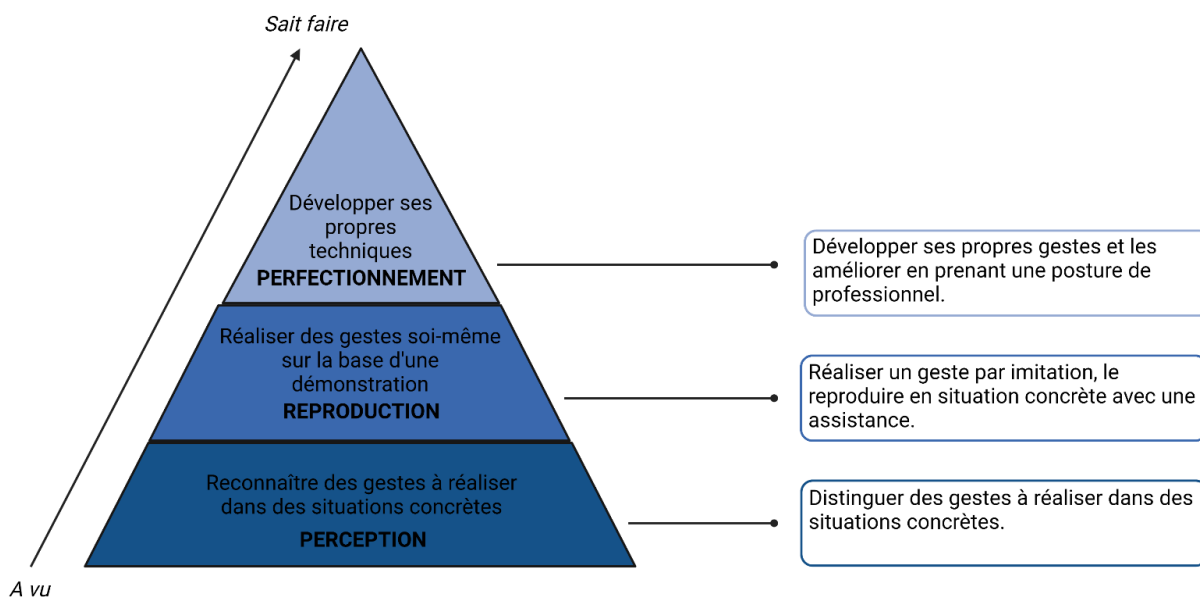


Figure 4 - La pyramide des objectifs psychomoteurs (1972)

Le domaine affectif n'a pas été omis, ce qui dans le contexte des années 1950, où fleurissait encore le *behaviorisme*, dans lequel l'exigence de la production d'un résultat standardisé par l'étudiant ou le professionnel mettait sous le boisseau la palette des réactions affectives qui façonnent pourtant largement le résultat de l'apprentissage. Selon la taxonomie originale de Krathwohl (Krathwohl, 1956), le domaine affectif s'étend sur cinq niveaux :

- la **réception**, dans laquelle l'étudiant met en place une attitude propice à l'écoute, à l'acceptation de la situation et à la création d'un climat propice à l'apprentissage. C'est dans ce niveau que certains comportements doivent être acquis (capacité de focaliser de l'attention, de la concentration), mais que d'autres, indésirables, doivent au contraire être éteints (désinvolture, « multitasking », bavardage, ...) ;
- la **réponse**, caractérisée par la production de signes par lesquels l'étudiant fait la preuve de son assentiment, de son acceptation et de sa motivation, propices à une expression adaptée à la situation ;
- la **valorisation**, qui amène l'apprenant à montrer qu'il adhère personnellement aux valeurs professionnelles exigibles, et non pas par désir de plaire ou d'être bien considéré ;
- l'**organisation** par l'étudiant de son propre système de valeurs, si possibles hiérarchisées ;
- et sa **caractérisation**, par laquelle il peut être amené à confronter ses valeurs à celles des autres, clients, collègues, confrères, et plus largement les valeurs culturelles et sociétales dans lesquelles il évolue. La complétude de ce niveau ferme l'acquisition des principes déontologiques professionnels.

Cette pyramide est souvent présentée sous une forme simplifiée à trois niveaux : réception, valorisation et adoption (Figure 5).

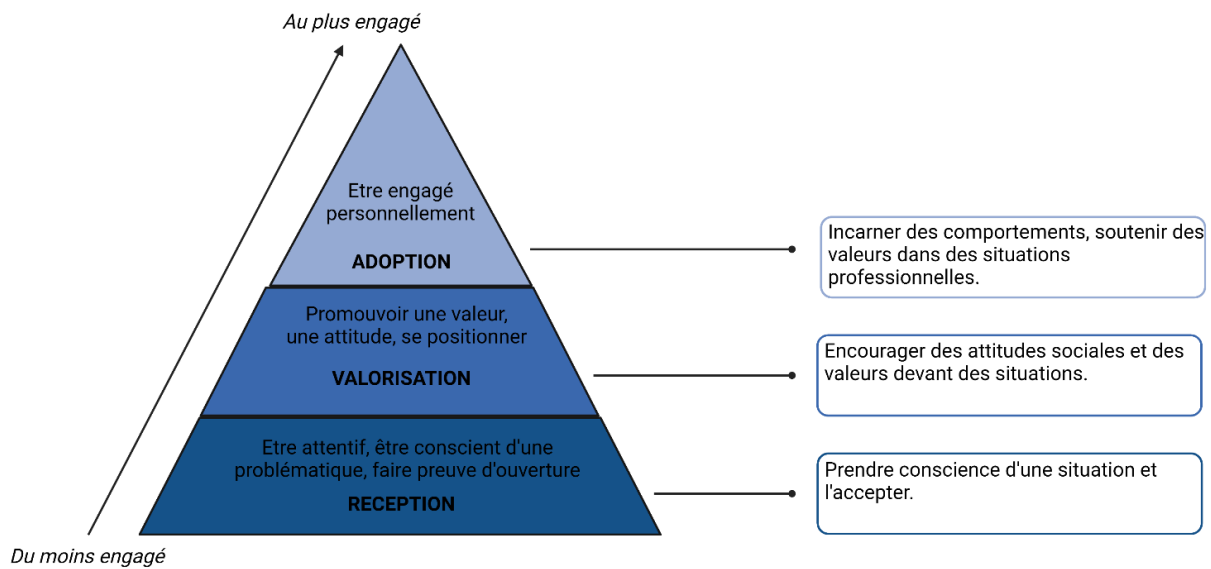


Figure 5 - La pyramide des objectifs du domaine affectif (1956)

1.3 Apprentissage dans le domaine cognitif

L'exploitation des informations par le cerveau, dans le domaine cognitif, nécessite plusieurs traitements successifs qui impliquent des activités cérébrales différentes et de nombreuses voies neuronales qui, toutes, peuvent fonctionner de façon automatisée (donc inconscientes), peu consommatrices d'énergie, ou au contraire peuvent exiger une grande concentration, génératrice de fatigue. L'une des pistes recherchées au cours de l'apprentissage cognitif est de faciliter l'automatisation d'un processus mental à chaque fois qu'il est possible de le faire.

1.3.1 La perception

La perception est définie comme « *un ensemble d'activités complexes biologiques et mentales liées à la prise de conscience de notre monde environnant et de nos actions propres* » (Roulin et al. 2000).

La perception est immédiate ; l'intégration d'un stimulus extérieur se fait en quelques millisecondes. Cette perception résulte d'une intégration biologique et mentale. Elle fait intervenir les cinq sens (vue, odorat, goût, toucher, audition), mais aussi des sensibilités proprioceptives via des modalités kinesthésiques qui rendent compte des mouvements et des modalités vestibulaires qui renseignent sur l'équilibre et l'accélération (Roulin et al. 2000).

Chaque information doit dépasser un seuil de sensibilité propre à chacun pour être perçue. Par exemple une personne présentant des troubles auditifs ne réagira pas aussi vite à un bruit de sirène qu'une personne sans déficience. Une fois un stimulus perçu, il est intégré au niveau central. Ainsi, on retrouve trois étapes de perception. Un traitement tout d'abord sensoriel du stimulus, puis un traitement de structuration qui répartit l'information dans l'aire cérébrale adaptée. Pour finir, le stimulus est interprété.

La perception n'est pas uniforme. Une même couleur, un même son, une même odeur font l'objet d'autant de traductions mentales différentes qu'il y a d'individus à les percevoir. On parle de *représentation*. Le cerveau de chaque individu reconstruit le monde selon ses caractéristiques propres, qui relèvent autant de l'inné que de l'acquis. La représentation est donc le produit des informations sensorielles perçues et de nos connaissances conceptuelles individuelles. Or, c'est l'information qui sera mémorisée à plus ou moins long terme.

Pour rendre efficace l'apprentissage, il est donc essentiel de prendre le temps de s'assurer que les différents étudiants finissent par évoluer dans un monde mental dont les représentations sont les plus proches possibles de la réalité, au moins en ce qu'elle s'inscrit dans un registre professionnel.

Il existe deux types de représentations :

- la représentation sémantique qui est une conception implicite ou explicite fondée sur l'expérience vécue ;
- la représentation lexicale qui est basée sur un mot. La mémoire de ce mot conduit vers le lexique mental de toutes les significations de ce mot.

1.3.2 L'attention

L'attention permet d'optimiser le traitement perceptif, cognitif et moteur d'un stimulus, d'une information. Elle intervient le plus souvent après la reconnaissance du stimulus, mais elle sert aussi, très souvent, de filtre qui permet d'éteindre les stimulus non signifiants avant même leur interprétation.

L'attention est donc, déjà, une activité cognitive qui s'exerce sur les représentations mentales, c'est-à-dire sur les connaissances. Elle influence fortement les trois processus qui sont mis en jeu : une sélection des informations préférentielles, l'activation des voies nerveuses qui les acheminent et une organisation de la mémoire qui en permettra la rétention. L'attention est donc à la fois un filtre qui permet de sélectionner les informations cibles et de bloquer ou d'atténuer les distractions, un facilitateur de leur intégration centrale et une aide à leur stockage sur le long terme.

L'attention permet de prioriser certaines tâches en cours de réalisation, dites primaires, et d'en retarder, voire suspendre certaines, si elles sont considérées comme secondaires. Elle peut être endogène, c'est-à-dire orientée volontairement par un individu ou bien exogène, déclenchée par un stimulus extérieur.

Il ne s'agit pas d'un processus binaire de type on/off. L'attention est plutôt un processus analogique graduel qui peut à tout moment évoluer vers le haut ou vers le bas. Il faut distinguer en effet distinguer l'éveil, qui correspond à un simple niveau accru d'activité du système nerveux, et la vigilance, qui est une augmentation de l'efficacité comportementale sur le long terme (Roulin *et al.* 2000).

Dans les années 1980, l'attention avait été définie comme un processus faisant appel à la focalisation, la concentration et la conscience.

Aujourd'hui l'attention peut se diviser en trois grands axes complémentaires :

- l'attention en tant que système d'alerte, c'est-à-dire le maintien d'une vigilance accrue et optimale pour permettre une réaction rapide ;

- l'attention comme ressource limitée face à deux situations concurrentes (il est difficile de suivre attentivement les deux). Les tâches concurrentes sont d'ailleurs hiérarchisées en tâches, primaires et secondaires. Dans des situations motrices où la tâche primaire sollicite un important processus attentionnel, l'ajout d'une tâche secondaire dégradera la réalisation de la tâche primaire ;
- enfin, l'attention comme processus sélectif car elle permet de se focaliser sur certains détails favorisant des processus d'encodage afin de conserver les informations (Ferrel-Chapus et Tahej 2010).

1.3.3 La mémoire

1.3.3.1 *Les différentes mémoires en lien avec la plasticité synaptique*

La mémorisation de l'information par l'étudiant est une étape cruciale dans l'apprentissage de son métier. Les mécanismes et liens complexes qui permettent d'encoder, de stocker et de récupérer l'information font partie intégrante de ce que l'on nomme le système mémoire.

Le modèle MNESIS développé par les psychologues Francis Eustache et Béatrice Desgranges en 2008 (Eustache *et al.* 2016), permet de bien comprendre le phénomène de mémorisation (Figure 6). Leur modèle s'appuie sur cinq types de mémoires différentes qui avait été décrites en 1985 par Tulving (Tulving) :

La **mémoire de travail** est aussi appelée mémoire à court terme. L'information intégrée par cette mémoire est maintenue et manipulée de façon temporaire. La capacité de cette mémoire (appelée l'empan mnésique) est très limitée, c'est elle qui enregistre l'information verbale et ou visuelle en l'espace de quelques minutes. Elle permet la prise de décision.

La **mémoire procédurale** est la mémoire des automatismes et du savoir-faire. C'est elle qui intègre et récupère des procédures cognitives ou motrices qui relèvent de l'automatisme. C'est une mémoire de constitution progressive et complexe, qui se consolide au cours du temps et selon le contexte d'apprentissage. La répétition notamment lui permet de se consolider plus rapidement.

Les trois mémoires suivantes relèvent de la mémoire dite à long terme :

La première est la **mémoire perceptive**, elle stocke les informations en se basant sur nos sens, à notre insu. Elle permet de faire une économie cognitive puisque les bruits, les sons et les images encodés dans cette mémoire permettent de réaliser une activité routinière tout en effectuant au besoin une autre action spécifique (par exemple, puisé dans la vie de tous les jours : rentrer chez soi tout en pensant à autre chose.)

La **mémoire sémantique**, elle, comprend le langage, la connaissance abstraite et générale. C'est une mémoire qui se construit et se réorganise tout au long de la vie d'un individu selon les apprentissages. Elle est étroitement liée à la dernière mémoire, la **mémoire épisodique** qui enregistre les événements et les souvenirs personnels. Cette mémoire permet de se situer dans le temps. Progressivement les souvenirs épisodiques perdent des détails qui leurs permettaient d'être contextualisés. Ils deviennent alors une « connaissance » et intègrent donc la mémoire sémantique (Dortier 2014).

Enfin, les mémoires sémantique et épisodique sont regroupées sous le terme de mémoire déclarative. On utilise le terme « déclarative » car il est possible, en pleine conscience, de mobiliser l'information, qu'elle soit verbale ou imagée. A l'inverse, on parle de mémoire non déclarative pour la mémoire procédurale car il n'est possible de mobiliser certaines

connaissances cognitives, motrices ou perceptives que dans l'action, comme par exemple faire du vélo ou avoir une démarche de calcul arithmétique.

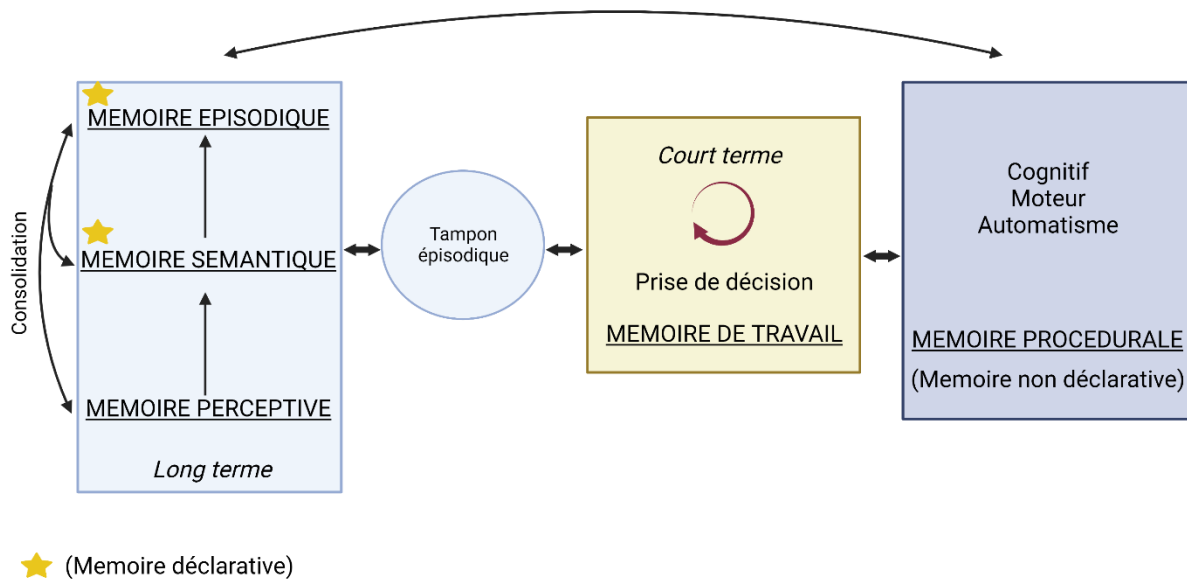


Figure 6 - Le fonctionnement de la mémoire selon le modèle MNESIS (Eustache et al. 2016)

Le modèle MNESIS met en image le rôle central de la mémoire de travail qui redistribue l'information entre la mémoire procédurale et les mémoires déclaratives.

Francis Eustache met en avant l'existence d'un "trigger épisodique" ou tampon, qui filtre l'information transmise par la mémoire de travail.

Les trois mémoires à long terme sont interconnectées, ce qui facilite l'apprentissage et augmente la probabilité de mémorisation à très long terme. Cette phase d'organisation, fondée sur un post-traitement et un « étiquetage » des informations traitées, fait largement appel à la plasticité synaptique. Appelée *consolidation*, elle s'appuie à la fois sur l'effacement (l'oubli) de liens d'inférence considérés comme non signifiants, et sur la possibilité de contextualiser l'information traitée en la rattachant aux autres informations déjà mémorisées, pour non seulement en garder une trace mnésique durable, mais aussi, et surtout, pour permettre son rappel ou son évocation dans toutes les circonstances où elle pourrait être utile.

La mémoire procédurale, un peu à part, a également des liens avec les autres mémoires ; ceux-ci se renforcent lors d'un apprentissage procédural, mais s'affaiblissent lors de l'automatisation cognitive ou motrice ((Eustache et al. 2016). Il s'agit, là encore, d'un processus d'économie d'énergie qui diminue la charge cognitive et la fatigue.

1.3.3.2 L'hippocampe chef d'orchestre de la mémoire.

Les bases biologiques, cellulaires et moléculaires qui sous-tendent la mémoire sortent du cadre de ce travail. Schématiquement, dans les années 1995 a été émise l'hypothèse selon laquelle le siège de la mémoire déclarative se trouve au niveau de l'hippocampe et du lobe temporal médial, et que le siège de la mémoire procédurale se situe au niveau du striatum. À

cette époque striatum et hippocampe sont considérés comme étant deux systèmes indépendants (Albouy et Maquet 2008 ; Rauchs *et al.* 2011).

En 2003, grâce à l'imagerie par résonance médicale, il est établi qu'au cours de l'apprentissage, une forme de concurrence apparaît entre les deux structures, mettant en doute la théorie jusque-là retenue. C'est en 2007 que sont mis en évidence des réseaux neuronaux communs à l'hippocampe et au striatum prouvant que l'hippocampe joue un rôle dans l'acquisition et la consolidation de la mémoire déclarative et procédurale, fondant la preuve que la mémorisation fait appel à des mécanismes et des interactions complexes encore discutés aujourd'hui (Rauchs *et al.* 2011).

Le schéma actuel développé pour expliquer la consolidation de la mémoire serait que la trace mnésique (chemin de mémoire) serait liée à la fois à des réseaux neuronaux déjà existants au sein des néocortex, mais également à des liens entre les néocortex et l'hippocampe (Albouy et Maquet 2008).

Les réseaux existants des néocortex permettraient d'encoder et de stocker de nouvelles informations plus rapidement. La trace mnésique entre le néocortex et l'hippocampe, quant à elle, permettrait de consolider la mémoire en réactivant fréquemment les réseaux. Cette réactivation du réseau aurait lieu principalement durant le sommeil (Rauchs *et al.* 2011). L'importance quantitative (temps de sommeil) et qualitative (notamment le rapport sommeil lent sur sommeil paradoxal) dans la consolidation des mémoires à long terme a en effet été démontrée depuis longtemps.

Chaque mémoire possède des aires cérébrales associées et des réseaux neuronaux propres situés au niveau des néocortex. L'hippocampe agit donc comme un chef d'orchestre reliant toutes ces régions et distribuant l'information, jouant aussi un grand rôle dans la consolidation de la mémoire (Albouy et Maquet 2008).

1.3.3.3 Plasticité synaptique

Chaque système mémoire à un réseau propre de neurones, mais ces systèmes sont aussi interconnectés par des liaisons neuronales qui évoluent au cours de la vie, ce que l'on nomme la plasticité synaptique. Il se tisse ainsi un immense réseau en constante évolution. Au cours de l'apprentissage, de nouvelles liaisons entre neurones se forment : ce sont les synapses. Dans l'hippocampe, il y a aussi formation de nouveaux neurones.

En cas de stimulation, un neurotransmetteur, le glutamate est libéré par le neurone pré-synaptique. Il se fixe à des récepteurs spécifiques situés sur le neurone post-synaptique, les récepteurs AMPA. En cas de forte stimulation, le glutamate (libéré en grande quantité) va alors se fixer sur de nouveaux récepteurs : les récepteurs NMDA. Cela déclenche une entrée d'ions calcium au niveau du neurone post-synaptique. Une cascade moléculaire s'ensuit et provoque l'activation de gènes codant pour des protéines qui permettent de modifier les connexions inter neuronales (Sehgal *et al.* 2013).

La phosphokinase zêta et la protéine ZIF268 font partie de ces protéines. Une étude menée sur des souris a permis d'observer que celles-ci ne pouvaient pas retenir des informations plus de quelques heures après les avoir reçues si l'expression du gène ZIF 268 était préalablement bloqué (Veyrac *et al.*, 2014). Ces médiateurs jouent donc un très grand rôle dans la mémorisation à court terme, mais aussi dans la consolidation d'un apprentissage, puisque leur présence renforce ou non le lien entre différents réseaux neuronaux.

La plasticité synaptique permet de mémoriser, mais aussi de consolider et d'adapter la mémorisation. Elle dépend de plusieurs facteurs dont, entre autres, l'importance de l'apprentissage, la stimulation intellectuelle, l'alimentation et la qualité du sommeil.

1.3.4 Le raisonnement

Le raisonnement est « *un encodage de prémisses qui conduisent à déterminer des règles inférentielles pertinentes* » (Grosset *et al.* 2004). On peut encore le qualifier de processus cognitif par lequel on procède à un enchaînement intentionnel ou non de propositions (**prémisses**), par différents processus d'**inférences** (liens), pour aboutir à une **conclusion**. Il permet de construire des modèles mentaux permettant, dans un contexte donné, d'élaborer une conclusion qui détermine, au besoin, la prise de décision.

Un individu raisonne en utilisant des schémas de connaissances qui proviennent de son expérience personnelle et des règles ou consignes qu'il reçoit. Ainsi un individu raisonne différemment selon les situations et les objectifs pragmatiques qu'il se fixe. Il est possible que d'une culture à l'autre, pour une même situation, le raisonnement diffère (Cheng 1985).

Le raisonnement met en jeu trois systèmes différents et complémentaires : la reconnaissance de formes, les raisonnements inférentiels et les raisonnements probabilistes.

1.3.4.1 La reconnaissance de formes

Le premier système est déjà présent chez les très jeunes enfants et permet le traitement implicite et précoce d'un ensemble d'informations. Conceptualisé au début du XX^e siècle par l'école allemande de la *Gestalt Theorie*, il a reçu plusieurs dénominations comme « reconnaissance de formes » ou encore « schémas pragmatiques » (Roulin *et al.* 2000). À partir de cet ensemble d'informations, la reconnaissance de formes permet l'émergence et la reconnaissance d'une conclusion possible, en extrayant inconsciemment certaines d'entre elles, les autres points constituant le bruit de fond. C'est ce traitement qui permet, face à une image par exemple, de reconnaître immédiatement une forme qui y figure comme un tout et non comme un nuage de points juxtaposés. Il est également utilisable lors de la manipulation d'autres types d'informations que les seuls stimuli sensoriels, comme des idées ou des faits abstraits.

La reconnaissance de formes présente deux avantages essentiels. Il s'agit d'un traitement pré-attentionnel du stimulus qui est inconscient, pragmatique et superficiel (Roulin *et al.* 2000).

- Ce système est donc disponible en permanence, et utilisé la plupart du temps puisqu'il est opérationnel précocement chez l'enfant et se développe peu à peu chez l'adulte. Il présente une faible variabilité interindividuelle.
- Il est économe en énergie et permet, lors de l'apprentissage, de passer peu à peu d'un traitement lent et coûteux, faisant appel aux autres formes de raisonnement, à un traitement rapide et automatisé. Prenons l'exemple de l'apprentissage de la conduite automobile. L'apprenti conducteur traite attentivement toutes les informations sensorielles qui lui proviennent du véhicule et de l'environnement, avant de pouvoir décider de la direction à prendre ou des gestes à effectuer pour contrôler le véhicule. Lors de cette étape, fatigante, il est incapable de soutenir une conversation avec un passager. Le passage en traitement pré-attentionnel, automatique, lui permet peu à peu de conduire efficacement (sous certaines réserves évidemment, si son attention redevient brutalement nécessaire), tout en discutant avec son voisin.

Cependant, la reconnaissance de formes présente une limite très importante : son efficacité est en effet très variable en fonction de la quantité et de la qualité des informations manipulées inconsciemment, du cadre de référence, qui sont utilisées lors du traitement. Il est très fortement dépendant des connaissances acquises et de l'expérience, qui constituent le « modèle » de comparaison permettant au cerveau de décider, tout seul, ce qui relève de l'information pertinente et ce qui reste dans le bruit de fond non traité. Pour ces raisons, la reconnaissance de formes s'est longtemps vue déniée le statut « noble » de raisonnement, alors même qu'elle est utilisée la plupart du temps dans la vie quotidienne, personnelle autant que professionnelle. Dans le domaine médical, c'est elle qui rend compte de ce qu'il est convenu d'appeler le « sens clinique », ou encore « l'intuition diagnostique », auxquels ont recours même les spécialistes les plus chevronnés. Il suffit d'être conscient de cette limite et de la grande variation dans la validité de la conclusion à laquelle elle aboutit.

1.3.4.2 *Les raisonnements inférentiels*

Le second système se développe plus tardivement, chez les adolescents puis les adultes. Il repose sur un traitement analytique conscient et volontaire d'un ensemble d'informations, enchaînée en liens inférentiels pour autoriser la conclusion. C'est le **raisonnement logique**. Le processus est explicite et accessible à la conscience, mais il est lui aussi contraint par la mémoire. Il permet cependant une nette augmentation des performances (Grosset *et al.* 2004).

Seul le raisonnement logique peut garantir la certitude de la validité de la conclusion auquel il aboutit, et encore sous réserve qu'il soit maîtrisé et qu'il repose sur des informations solides. On peut en effet développer un raisonnement non valide si les inférences sont mal maîtrisées, ou mettre en place un raisonnement parfaitement valide sur le plan inférentiel, mais qui aboutisse à une conclusion erronée parce qu'une ou plusieurs prémisses sont fausses.

Le raisonnement logique est encore appelé raisonnement démonstratif ou raisonnement déductif. Sa forme basale, connue depuis Aristote, est le syllogisme. À partir de deux propositions (les prémisses) connues comme vraies, on procède à une inférence qui permet de déduire la troisième qui permet de conclure (Gogny 2023).

*Tous les hommes sont mortels.
Socrate est un homme.
Donc Socrate est mortel.*

Sa principale variante est le raisonnement conditionnel, qui se base sur des relations contingentes réelles ou hypothétiques. « *Le raisonnement conditionnel est la forme de raisonnement propositionnel qui met en jeu des énoncés conditionnels, c'est-à-dire des énoncés construits avec le connecteur « si... alors » ou des expressions équivalentes* » (George 1997). Dans cette variante, l'une des prémisses est en effet exprimée sous la forme d'une condition (Gogny 2023).

*S'il pleut, il y a des nuages.
Il n'y a pas de nuages.
Donc il ne pleut pas.*

La logique est efficace, mais elle est lente et coûteuse en énergie. Pour ces raisons, elle n'est finalement pas utilisée de façon prédominante, même dans la vie professionnelle. Son domaine d'efficacité indéniable est justement l'apprentissage.

1.3.4.3 Les raisonnements probabilistes

La troisième famille de raisonnements, les **raisonnements probabilistes**, n'est encore accessible que plus tardivement dans la vie, et certains de ses aspects sont réservés à des spécialistes qui sont, d'une part, capables d'assortir les prémisses manipulées d'une probabilité d'être vraies, et de mettre en place des inférences valides pour les manipuler (Roulin *et al.* 2000). De très nombreux individus, y compris dans le domaine professionnel, sont pour ces raisons difficilement capables de les mettre en place. Il n'est en effet, même pour les spécialistes, jamais possible d'être certain de la validité de leurs conclusions. Tout au plus peut-on estimer la probabilité qu'elles sont de l'être. Pour ces raisons, on les appelle encore **raisonnements non démonstratifs**.

Schématiquement, il existe trois groupes de raisonnements probabilistes :

- l'induction (ou raisonnement inductif), souvent considéré à tort comme une branche de la logique ;
- la catégorisation ;
- le raisonnement bayésien, forme la plus aboutie de raisonnement probabiliste faisant appel au théorème de Bayes.

L'induction est un processus d'inférence hasardeuse qui permet, après observation d'un ensemble de cas particuliers, d'en tirer une règle d'inférence générale ayant une certaine probabilité d'être valide (Gogny 2023).

*Alain Lacourt, Camille Bernard et Florent Manaudou ont nagé.
Ils sont ressortis totalement mouillés.
Donc si l'on nage, on ressort totalement mouillé.*

Dans cet exemple, la conclusion est probablement vraie dans tous les cas, excepté cependant le recours à une combinaison de natation.

La **catégorisation** est un processus assez voisin qui permet, à partir du regroupement d'items constatés ou considérés comme similaires, d'en tirer une règle générale d'appartenance à une même catégorie, ayant là encore une certaine probabilité d'être valide (Gogny 2023).

*Tous les loups ont des poils.
Toutes les louves ont des mamelles.
Donc les loups sont des mammifères et ne pondent pas d'œufs.*

Cet exemple est valide, mais la même inférence appliquée aux ornithorynques aboutirait à une conclusion erronée.

Le **raisonnement bayésien** est celui qui échappe enfin à la majorité des professionnels, tant il nécessite d'être fondé sur des connaissances qui, souvent, font défaut, et tant son maniement nécessite une formation spécifique réservée à l'expert. Schématiquement, il consiste à pondérer chaque prémisse par une probabilité *a priori*, fondée sur l'analyse de la littérature, pour pondérer la conclusion tout en tenant compte de la probabilité d'un lien entre les deux prémisses, dite probabilité *a posteriori*.

*Un test de dépistage d'une maladie donne un taux de vrais positifs dans 90% des cas chez des patients malades.
Mais il est également faussement positif chez 1% des patients sains.
Chez un patient dépisté, le résultat est positif. Quelle est la probabilité qu'il soit malade ?*

Dans cet exemple, si l'on s'en tient aux seules données exposées dans les prémisses, on aboutit systématiquement à une conclusion erronée, par exemple déclarer que le patient a de l'ordre de 9 « chances » sur 10 d'être malade. Or, il est impossible de raisonner correctement si l'on ne prend pas en compte un autre élément, la prévalence de la maladie dans la population (c'est la probabilité *a posteriori*). Si par exemple la maladie ne touche qu'un patient sur 100.000, l'application du théorème de Bayes donne une probabilité de maladie chez le patient testé de l'ordre de 9.10^{-6} !

Dans le domaine des sciences médicales, et de façon générale dans les sciences expérimentales, la part d'incertitude qu'il faut intégrer dans les raisonnements est toujours très importante. C'est encore plus vrai dans le domaine vétérinaire, comparativement à la médecine de l'Homme, car les données sont encore plus lacunaires et/ou fondées sur de petits échantillons, assortis de très peu de méta-analyses. Pourtant, en toute rigueur, les raisonnements probabilistes devraient être prépondérants pour aboutir à un raisonnement diagnostique, pronostique ou thérapeutique le plus valide possible. L'intelligence artificielle, notamment dans son volet « apprentissage profond » (*deep learning*) permet à la fois une réactualisation et une compilation très rapides de l'ensemble des données disponibles, exprimées en termes probabilistes, et leur intégration dans des inférences bayésiennes. C'est pourquoi elle devrait être d'un apport considérable en médecine dans les prochaines années (Gogny 2023).

1.3.4.4 Implications dans les formations médicales

Ce que l'on attend d'un étudiant médecin ou vétérinaire à la fin de son cursus est sa capacité à raisonner. Il doit pouvoir diagnostiquer, soigner et conseiller ses patients efficacement et selon les données acquises de la science. Pour cela il a besoin de ses connaissances et doit faire le lien entre celles-ci et les informations obtenues lors de l'entretien avec son patient ou celles obtenues lors de l'examen clinique par exemple.

Le raisonnement clinique est « *un processus de pensée et de prise de décision qui permettent au clinicien d'effectuer l'action jugée la plus utile dans un contexte spécifique* » (Charlin et al. 2003). Il peut être considéré comme étant l'activité intellectuelle qui synthétise l'information obtenue à partir de la situation clinique, des connaissances théoriques et des expériences antérieures du praticien. Toutes ces informations sont utilisées pour prendre des décisions de diagnostic ou de prise en charge du patient (Charlin et al. 2003).

Le cheminement qui amène l'étudiant à raisonner puis à prendre une décision, qu'elle concerne les examens complémentaires à mener, l'établissement du diagnostic, le pronostic ou encore le traitement à mettre en place, fait l'objet de nombreuses discussions sans que les chercheurs s'accordent sur un mécanisme particulier tellement ce phénomène est complexe et propre à chacun (Charlin *et al.* 2003).

1.4 Apprentissage dans le domaine psychomoteur

1.4.1 La proprioception

La proprioception est la « *capacité à connaître la position de notre corps dans l'espace, ou de chacun de nos membres les uns par rapport aux autres, et à évaluer la résistance contre laquelle une tâche motrice est réalisée* » (Lamy 2006).

Il existe plusieurs modalités qui informent l'organisme sur sa position et ses mouvements. La sensibilité de position se nomme la statesthésie ; elle dépend des angles articulaires. Elle détecte en effet des positions relatives des membres entre eux et par rapport au corps. La sensibilité au mouvement se nomme la kinesthésie. Elle permet de percevoir la vitesse, l'amplitude, la direction et les forces exercées lors d'un mouvement (Lamy 2006).

La proprioception inconsciente permet le maintien dans une position debout, elle ajuste la posture. Ce sont les réflexes médullaires qui permettent un ajustement rapide. La proprioception consciente fait appel à la statesthésie et la kinesthésie. Le traitement de l'information proprioceptive consciente se fait au niveau cortical (Lamy 2006).

La proprioception dépend de plusieurs types de propriocepteurs ou récepteurs somesthésiques :

- Les **fuseaux neuromusculaires** positionnés sur la partie charnue du muscle qui sont sensibles aux contractions musculaires ;
- Les **organes tendineux de Golgi** localisés aux jonctions musculo-tendineuses et musculo-aponévrotiques qui sont sensibles aux tensions exercées par le muscle ;
- Les **récepteurs articulaires** situés dans la capsule articulaire sont sensibles aux mouvements de celle-ci (Lamy 2006).

Les récepteurs musculosquelettiques constituent une grande partie du réseau afférent. En effet, l'information d'un mouvement ne provient pas uniquement du muscle sollicité, mais également des muscles synergistes et antagonistes. Et cette multitude d'informations affine fortement la proprioception (Lamy 2006).

Les récepteurs cutanés peuvent aussi apporter des informations sensibles car ils sont sensibles à la déformation cutanée tel que la pression ou l'étirement, par exemple (Roulin *et al.* 2000).

D'autres récepteurs à distance renseignent sur les déplacements en cours et la position de la tête. Il s'agit des **récepteurs vestibulaires** (cellules ciliées de l'oreille interne) qui sont sensibles à la position de la tête et à l'accélération (Roulin *et al.* 2000).

A cela peut s'ajouter les afférences visuelles car elles contribuent aussi à l'évaluation des mouvements de la tête. Les afférences vestibulaires et visuelles convergent, c'est pourquoi il est possible d'avoir l'impression de reculer alors que nous sommes arrêtés à un passage piéton et qu'une voiture roule à côté de nous (Lamy 2006).

L'information sensorielle est intégrée au niveau du cortex des lobes pariétaux, temporaux et occipitaux selon les types d'information (vestibulaire, musculosquelettique).

1.4.2 Le mouvement

Le mouvement peut être involontaire, il fait alors appel à des réflexes automatiques tels que ceux mis en place lors du maintien de l'équilibre. Mais il peut aussi être volontaire, dans ce cas il fait intervenir, entre autres, le cortex moteur.

1.4.2.1 Les mouvements involontaires

Le **contrôle réflexe** du mouvement est guidé par des circuits neuronaux locaux. Il comprend un circuit médullaire pour les muscles des membres et du tronc, et un circuit engageant le tronc cérébral pour les muscles de la tête (exemple : retirer brusquement sa main d'une poêle chaude).

Le **contrôle automatique** du mouvement permet entre autres de marcher ou de mastiquer. Il implique l'intervention de générateurs centraux du rythme qui sont des réseaux de neurones, responsables d'une activité rythmique alternée de muscles fléchisseurs et extenseurs. Le contrôle automatique du mouvement dépend de centres nerveux centraux et d'informations sensorielles au moment du déclenchement de l'action, mais aussi de la nécessité de s'adapter (c'est l'exemple de la marche, s'il faut accélérer ou adapter la marche à un terrain difficile). Le reste du temps le mouvement est auto-entretenu (Pierrot-Deseilligny et Burke 2012).

1.4.2.2 Les mouvements volontaires

Un mouvement volontaire est un mouvement intentionnel et non stéréotypé. Il y a synergie entre les informations sensorielles et les muscles striés squelettiques, dont les mouvements sont coordonnés par des centres nerveux centraux.

Trois phases sont décrites dans la genèse et la réalisation du mouvement volontaire (Figure 7) :

- la phase intentionnelle durant laquelle le mouvement est préparé ;
- la phase de planification et d'initiation du mouvement qui coordonne les actions motrices du corps, des membres et du regard lors du mouvement ;
- la phase de réalisation du mouvement qui implique les voies nerveuses centrales et périphériques.

Le contrôle volontaire implique donc le cortex moteur et sensoriel ainsi que le cervelet, qui sont des structures nerveuses centrales.

Les voies nerveuses centrales comprennent différentes aires corticales. L'aire motrice primaire régit les mouvements volontaires. De cette aire partent de nombreux faisceaux de fibres qui se connectent à des motoneurones α . Il s'agit de la voie motrice pyramidale.

Chaque partie du corps possède une projection au niveau de l'aire motrice primaire. Ces projections forment ce que l'on nomme l'homoncule moteur. La surface de l'aire de projection ainsi que le nombre de neurones dédiés à un muscle augmentent si le mouvement requis est précis.

L'aire prémotrice et l'aire motrice supplémentaire sont activées lorsque l'on réalise mentalement un geste. Elles organisent les programmes moteurs nécessaires au mouvement.

L'aire prémotrice programme des mouvements exécutés en réponse à une information visuelle et adapte la posture pour optimiser un mouvement (exemple : rapprocher le bras d'un objet pour pouvoir le prendre dans la main).

L'aire motrice supplémentaire coordonne les mouvements qui nécessitent plusieurs membres et active des séquences motrices complexes, qu'elles soient nouvelles et/ou mémorisées.

Les noyaux gris centraux s'activent après le début du mouvement et permettent de le réguler notamment en ajustant la direction. Ce sont des noyaux sous-corticaux de la substance blanche qui jouent aussi un rôle dans l'attention, la motivation et le comportement de par leurs liens avec le système limbique (hippocampe et amygdale).

Les muscles striés squelettiques sont les effecteurs du système nerveux somatique, système qui permet les mouvements volontaires. Une voie neuronale efférente directe en commande les mouvements via des motoneurones α .

Plusieurs types d'informations influent sur l'activité des motoneurones α et par extension des muscles striés squelettiques. Ces informations sont :

- les informations transmises par les récepteurs sensoriels qui agissent via les réflexes moteurs ;
- les informations de la voie motrice extrapyramidale qui permet un contrôle de l'équilibre et des actions comme la marche ou le maintien de la posture ;
- les informations qui proviennent du cortex moteur primaire (Pierrot-Deseilligny et Burke 2012).

Le cervelet quant à lui joue un rôle important dans la correction d'un mouvement. En effet, celui-ci reçoit les informations motrices générées par l'aire motrice primaire en même temps que les muscles striés squelettiques. Mais il reçoit aussi les informations sensorielles des récepteurs somesthésiques. Le cervelet intègre ces informations et élabore le meilleur programme moteur possible pour réaliser le mouvement. Il envoie alors aux aires motrices des « corrections » et les ordres envoyés aux muscles striés squelettiques sont modifiés (Pierrot-Deseilligny et Burke 2012).

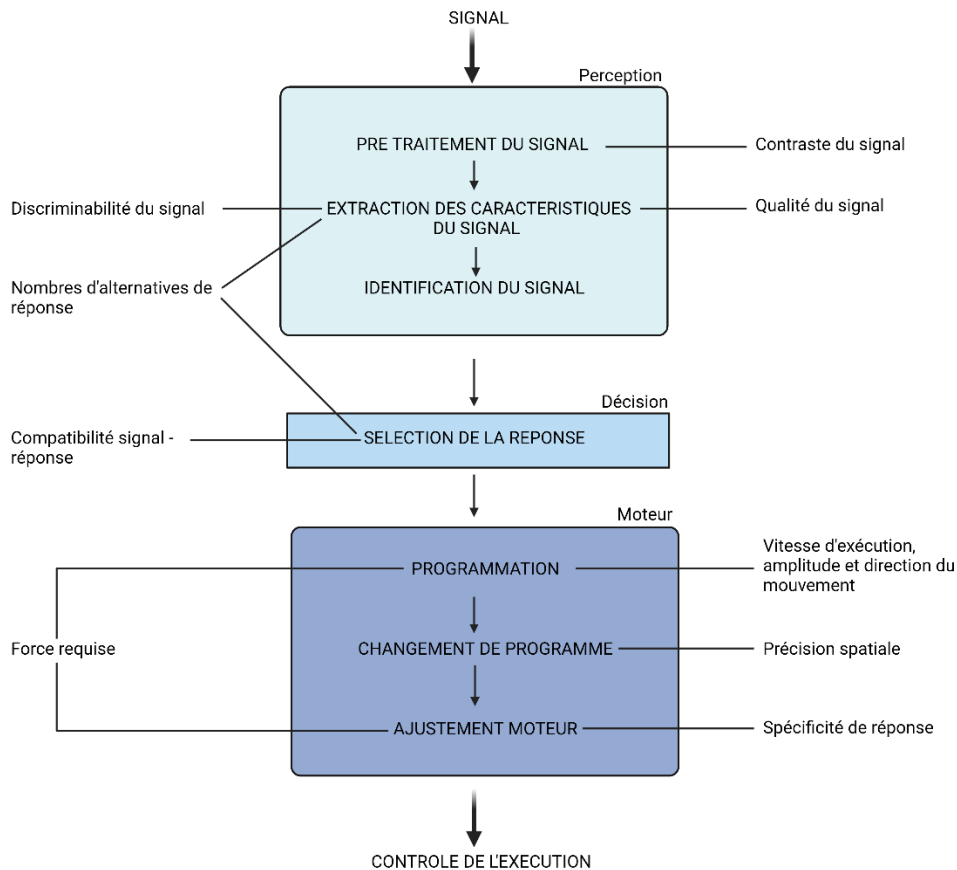


Figure 7 - Genèse et réalisation d'un mouvement volontaire en trois phases (Delignières 2005)

1.4.3 Développer ses habiletés manuelles

Il existe une inter-individualité importante chez l'adulte lorsqu'il s'agit d'apprendre de nouvelles habiletés motrices. Cette différence est corrélée à des variations d'activation cérébrale, liées à l'intégrité de la substance blanche et à la densité de la substance grise des régions motrices, mais aussi aux zones dont l'activité est corrélée au niveau d'oxygène présent dans le sang (Tomassini *et al.* 2011).

Pour développer ses habiletés manuelles il existe différents types d'apprentissages :

- l'apprentissage par observation permet de faire une comparaison entre ce qui a été observé et ce qui a été mémorisé, ce qui aide par la suite à imiter (Schenarts *et al.* 2021) ;
- l'apprentissage moteur explicite correspond à l'acquisition verbale de la compétence. Dans ce cadre, il s'agit de porter une attention toute particulière aux mécanismes en jeu lors de l'exécution du geste ;
- l'apprentissage moteur implicite est une acquisition non verbale d'une tâche. Cela implique une faible conscience de ce qui est appris et une difficulté à expliquer le geste car il est automatisé.

L'apprentissage moteur passe donc bien d'abord par un apprentissage cognitif et fait appel à une succession d'étapes. D'après le modèle établi par Fitts et Posner 1967, il comprend trois stades.

- Tout d'abord, il s'agit de réaliser un mouvement à la suite d'une représentation consciente. La concentration est donc importante et l'attention portée au geste est maximale. Le coût cognitif de cette étape est élevé, le geste est donc lent et malhabile.
- Ensuite, il s'agit d'optimiser le mouvement, les problèmes cognitifs sont contrôlés. Les objectifs, les enchaînements sont connus, il est même possible d'identifier les erreurs et d'adapter le geste. Les informations sensorielles qui vont aider à réaliser le geste étant connues, s'opère donc une modification des caractéristiques motrices et spatiales des mouvements pour optimiser la réalisation de la tâche.
- Enfin vient le stade d'autonomie grâce à l'expérience et à la répétition. Il existe une variation du nombre de répétitions nécessaires selon la difficulté du geste à réaliser. On parle d'automatisation du mouvement car le geste ne dépend plus d'un contrôle cognitif volontaire. Une verbalisation du geste ferait d'ailleurs baisser les performances (Masters *et al.* 2008).

1.4.4 L'attention dans les tâches motrices

Si deux tâches ont lieu en même temps, l'attention est lésée si les deux tâches sont cognitives. En revanche, si l'une des deux tâches est automatisée, il n'y aura aucun impact sur l'attention.

Dans le cas d'une tâche motrice, le but est d'arriver au niveau expert de maîtrise du geste. Néanmoins, il a été démontré qu'un expert est moins bon dans la réalisation du geste s'il doit l'expliquer en même temps. En effet, la performance est meilleure en configuration « double tâches », c'est-à-dire quand il y a économie d'attention et recours à l'automatisation. Dans cette situation, l'attention portée au mouvement est réduite (Ferrel-Chapus et Tahej 2010).

1.5 Apprentissage dans le domaine socio-affectif

L'apprentissage socio-émotionnel nécessite de comprendre et de gérer les aspects sociaux et émotionnels tout au long de notre vie. Dans le cadre d'une formation diplômante, cela signifie adapter ses façons d'être et ses connaissances dans le domaine socio-émotionnel à sa pratique, en interaction permanente avec les autres et en tenant compte de leur point de vue.

Maîtriser des compétences socio-émotionnelles permet de résoudre des problèmes au quotidien, de communiquer efficacement et de s'adapter à tout type de situation notamment en ayant des stratégies d'évitement du stress.

La notion de compétence socio-émotionnelle est une notion complexe car on la retrouve dans toutes les dimensions de la vie. Elle aide à développer des stratégies pour être plus productif (Arslan 2015).

1.5.1 Compétence émotionnelle

Il est établi qu'il existe cinq compétences émotionnelles : identifier, comprendre, exprimer, réguler et utiliser. La maîtrise de ces compétences doit intervenir dans deux dimensions :

- une dimension intrapersonnelle qui permet d'identifier ses émotions, de les exprimer et de les utiliser pour accroître notre efficacité ;
- une dimension interpersonnelle qui permet d'identifier les émotions d'un interlocuteur, de lui permettre de les exprimer ou encore d'utiliser celles des autres pour accroître leur efficacité (Mikolajczak 2020).

La maîtrise de ces compétences permet d'identifier sa personnalité, de développer et d'établir une bonne communication et de coopérer avec les autres plus facilement. En optimisant son efficacité, la réception de l'information s'en trouve facilitée, il est alors plus facile d'intégrer le discours d'un interlocuteur.

1.5.2 Entretenir sa motivation

La motivation est le « *désir de travailler vers un objectif, elle aide à s'engager, diriger et maintenir un comportement* » (Schenarts et al. 2021). Elle favorise donc le traitement cognitif de l'information et aide à maintenir un comportement adapté afin d'améliorer ses performances.

Il existe deux grands types de motivation :

- la motivation intrinsèque qui est le désir d'atteindre l'objectif fixé en interne, correspondant donc à un désir personnel ;
- la motivation extrinsèque qui dépend de l'extérieur, par exemple le regard des autres, la validation d'une rotation clinique, la réussite à un examen.

L'enseignant joue un rôle important dans la motivation intrinsèque si son contenu de cours est pertinent ou s'il parvient à valoriser les intérêts de sa matière auprès des étudiants.

Une forme aboutie de la motivation intrinsèque est aussi l'auto-détermination, par laquelle l'étudiant définit ses propres besoins et ses propres objectifs. Il sélectionne personnellement les ressources et le matériel dont il a besoin pour apprendre. Il s'agit d'un apprentissage dit auto-dirigé. L'enseignant peut optimiser cet apprentissage en identifiant les lacunes et en aidant l'étudiant à se fixer des objectifs adaptés.

2 LE STRESS

Le stress peut être défini comme « *l'ensemble des réponses biologiques et psychosomatiques non spécifiques d'un organisme en réponse à une agression* » (Selye 1936) (Moisan et Le Moal 2012), quelle qu'en soit l'origine et l'intensité. C'est donc un phénomène physiologique adaptatif, dont la signification essentielle est de lui permettre de se soustraire à l'agression, soit par la fuite, soit par la lutte (« *fight or flight* »), comme l'avait déjà proposé Cannon en 1915 (Cannon 1915). Toutefois, les possibilités adaptatives ne sont pas illimitées et dans certains cas, les possibilités adaptatives sont dépassées, entraînant une expression pathogène (Laborit 1985).

Ainsi, il est essentiel de ne pas confondre les *facteurs de stress*, ou agresseurs, qui représentent l'agent causal et qui peuvent être très variés, et la réponse biologique qu'ils entraînent. Celle-ci est non seulement relativement uniforme, mais elle est également relativement conservée tout au long du phylum. On la retrouve en effet des invertébrés jusqu'aux primates.

2.1 Approche historique de la notion de stress

2.1.1 Définitions du stress

Les premiers travaux spécifiquement dédiés aux stress sont ceux du physiologiste d'origine autrichienne Hans Selye, qui en a finalisé le concept et l'a qualifié, en 1936, de syndrome général d'adaptation (*General Adaptation Syndrome, GAS*) (Selye 1936). Selon lui, la nature de l'agent stressant n'a pas d'importance : qu'il soit interne ou extérieur au sujet, la réponse de l'individu est identique. Selye, en effet, s'est d'abord étonné que les réponses végétatives et comportementales d'animaux soumis à des facteurs de stress variés soient très similaires, avant de proposer l'hypothèse que ces réponses, justement, lui permettaient de surmonter l'agression et de s'adapter (Szabo *et al.* 2017).

Le GAS est décomposé en trois phases : la phase d'alarme, la phase adaptative puis, si le phénomène persiste, la phase d'épuisement. La phase d'alarme correspond au développement de phénomènes non spécifiques qui mobilisent les défenses de l'organismes. A la fin de cette phase, des moyens de défenses actifs se développent, conduisant à l'apparition de la seconde phase du stress, la phase dite d'adaptation ou de résistance. Celle-ci correspond aux réactions de l'organisme en réponse à la stimulation prolongée par le facteur de stress. Cette phase prolonge, voire accentue les réactions de défense. Si le facteur de stress persiste, l'organisme entre dans une phase dite d'épuisement, au cours de laquelle seules les réactions passives de défense de l'organisme sont exprimées. Dans les cas extrêmes, cette phase peut éventuellement conduire à la mort (Selye 1998).

Dans les années 1970, la définition de Selye est revue par plusieurs scientifiques, dont John Mason (Mason 1971), autour de deux idées.

La notion de stress est bien à dissocier de la notion de facteur de stress : le stress correspond aux mécanismes mis en place pour faire face au facteur de stress, qui est l'agent causal de la réaction. Ces mécanismes sont univoques et emportent, dans les trois phases précitées, les mêmes supports neuroendocrines et comportementaux.

Toutefois, pour un même stimulus, le ressenti et finalement l'expression du stress par chaque espèce et/ou chaque individu peut être d'intensité différente, qui dépend de sa capacité propre à intégrer le facteur de stress. Ainsi, les caractéristiques génétiques et l'historique personnel d'une espèce ou d'un individu conditionnent sa réaction face à un facteur de stress, ce qui explique que plusieurs individus soumis au même facteur de stress n'expriment pas la même réaction. Cette théorie a été mise en évidence dans des conditions de travail en mesurant les variations de concentration d'adrénaline entre plusieurs sujets effectuant la même tâche (Le Moal 2007).

2.1.2 Stress et homéostasie

Le stress vient bousculer un « équilibre dynamique complexe » de l'organisme, l'homéostasie. Cette notion, évoquée pour la première fois par Claude Bernard en 1878, est définie comme « *la réaction physiologique ou les circonstances qui conduisent à des états stables dans l'organisme* » (Cannon 1929). L'allostasie est le processus qui ramène l'organisme à son équilibre physiologique interne. Lorsque ce processus de régulation est dépassé, c'est-à-dire lorsque les réponses adaptatives sont inadéquates, il aboutit à un déséquilibre permanent appelé dyshoméostasie. Dans les situations les plus extrêmes, celui-ci peut conduire à la mort de l'individu.

L'équilibre de l'organisme est régulièrement perturbé par des facteurs de stress intrinsèques ou extrinsèques. En retour, « *le corps et l'esprit humain réagissent au stress en activant un répertoire complexe de réponses adaptatives physiologiques et comportementales du système nerveux central et périphérique* » (Charmandari *et al.* 2005), qui visent à rétablir cet équilibre. En tant que mécanisme de défense, le stress peut présenter des avantages, puisqu'il permet de faire face aux facteurs de stress, mais il peut s'avérer néfaste si la réponse développée est inadaptée ou excessive. Ainsi, lors de réponses excessives ou prolongées, le stress peut affecter le bon fonctionnement de l'organisme, avec une atteinte du métabolisme, un ralentissement de la croissance ou une modification de la réponse immunitaire (Charmandari *et al.* 2005).

2.2 Caractérisation du stress

Le stress peut être caractérisé en fonction des facteurs qui en sont à l'origine, qui peuvent être internes ou externes à l'individu (facteurs de stress intrinsèque ou extrinsèque) ou provenir d'un environnement spécifique, comme l'environnement professionnel (« stress organisationnel », *burnout* dans sa définition initiale). Il peut également être caractérisé par sa durée (stress aigu ou chronique).

2.2.1 Stress d'origine intrinsèque et stress d'origine extrinsèque

Le stress d'origine extrinsèque est externe à l'individu, il provient de son environnement. C'est un stress dit « objectif » (Scanff 2005). Chez un étudiant, il s'agit par exemple du bruit d'une alarme incendie, de la perspective d'une évaluation scolaire, ou du comportement critique ou encourageant de l'enseignant (Flinn *et al.* 2016).

A l'inverse, le stress d'origine intrinsèque, dit « subjectif », correspond au stress perçu par l'individu après intégration cognitive (Scanff 2005). Ce stress est dit « psychologique », dans la mesure où il est potentialisé par des processus émotionnels, cognitifs et sociaux. Il est dépendant de l'expérience de chaque individu. En effet, la perception du facteur de stress est différente d'une personne à l'autre, de même que la solution mise en œuvre pour y faire face.

Ainsi, dans l'exemple de l'alarme incendie, un individu qui a déjà vécu une expérience en lien avec un feu peut exprimer un stress plus important, ses émotions et son passif accentuant son ressenti de la menace.

Les stress d'origine intrinsèque et d'origine extrinsèque sont liés. Ainsi, la réponse à un facteur de stress environnemental peut être amplifiée si le facteur de stress a déjà été intégré par l'individu lors d'un événement antérieur (Zhang *et al.* 2020).

La notion de stress d'origine intrinsèque est consubstantielle d'une émotion fondamentale qu'est l'anxiété, définie comme un état de souffrance durable liée à une agression clairement identifiée comme telle, mais qui évolue pour son propre compte. Liée à l'anticipation d'une menace future, mais subjective, l'anxiété peut alors s'amplifier et devient elle-même un facteur de stress intrinsèque. Elle place l'organisme en état de tension exacerbée et le plus souvent accompagnée de sentiments négatifs et d'appréhension (Delignières 1998).

En d'autres termes, l'anxiété est la réponse psychique qui accompagne la réponse physiologique de stress, mais si elle devient trop importante, elle peut contribuer à son développement, qui s'accompagne de signes cliniques pathogènes : insomnie, palpitation, tachycardie, transpiration par exemple (Molière 2012).

2.2.2 Le stress aigu, le stress chronique et la résignation apprise

Le stress aigu est déclenché par un événement isolé ressenti comme une menace (Moisan et Le Moal 2012). Il met l'individu en état de vigilance et d'attention accrue (Stelly *et al.* 2020), ce qui améliore la détection de stimulus dans l'environnement. Les mécanismes mis en jeu permettent à l'individu d'identifier l'élément ou l'événement comme une menace ou un profit potentiel et d'adopter le comportement adapté pour s'y soustraire. En fonction des caractéristiques physiologiques du stress, décrites plus bas, le stress peut être dit aigu lorsque sa durée est de l'ordre de quelques minutes à quelques heures.

Le stress chronique résulte de la présence permanente, réelle ou perçue, de facteur de stress, qui limite la restauration de l'homéostasie et le retour des fonctions de l'organisme à l'état d'équilibre. Cet état de stimulation permanent engendre des modifications biologiques et psychologiques qui, au bout de quelques semaines, quelques mois ou quelques années, sont susceptibles de provoquer le développement de troubles tels qu'un syndrome métabolique, des troubles cardiovasculaires (cardiomyopathie, hypertension, fibrillation atriale) (Kivimäki et Steptoe 2018), de la dépression (Price et Duman 2020), voire des modifications du développement de la personnalité (Moisan et Le Moal 2012). Les travaux sur le sujet ont d'ailleurs suivi d'une vingtaine d'années seulement ceux de Hans Selye. C'est l'équipe de Seligman qui les a le mieux décrits, et qui les a qualifiés de « résignation apprise » (Overmier et Seligman 1967). Le concept a ensuite été repris et élargi avec les travaux d'Henri Laborit (Laborit 1985) sous le terme « d'inhibition de l'action ». Schématiquement, si l'individu, par apprentissage, sait qu'il n'a aucun moyen, ni par la fuite, ni par la lutte, de se soustraire à une agression, il s'inhibe, la subit, développe un état de stress chronique dont l'expression est systématiquement pathogène. Cette notion peut avoir des conséquences très importantes en éducation et en formation professionnelle.

2.2.3 Le stress organisationnel

La notion de stress organisationnel a été décrite dans le contexte professionnel. Ce stress est souvent la résultante d'un déséquilibre environnemental, poussant un individu à investir ou à surinvestir ses ressources personnelles pour y faire face (Gintrac 2011).

Il intègre quatre grands axes :

- l'organisation et les processus de travail : temps de travail, autonomie, caractéristiques de management ;
- la communication : la communication ascendante, qui concerne la possibilité de demander et de recevoir de l'aide, la communication descendante, qui notamment concerne la clarté des objectifs assignés, et la communication horizontale, qui correspond à la qualité des échanges et relations avec des pairs ;
- les conditions et l'environnement de travail, liés aux spécificités du milieu ;
- des facteurs subjectifs, propres à chaque travailleur, qui jouent sur l'influence des autres facteurs.

Dans le contexte du sport de haut niveau, par exemple, le stress organisationnel peut être décomposé comme suit (Woodman et Hardy 2001) :

- le stress lié à l'enseignement et aux méthodes d'enseignement ;
- le stress d'équipe, qui intègre le réseau de personnes en contact avec le sportif, c'est-à-dire les coéquipiers mais aussi les administrateurs de l'établissement de formation ainsi que toutes les personnes qui interfèrent avec lui au cours de son parcours ;
- le stress professionnel, qui est en rapport direct avec l'environnement dans lequel évolue le sportif ;
- le stress personnel, inhérent à chaque individu, et qui dépend des objectifs que se fixe le sportif ou de facteurs tels que la qualité de son alimentation ou de son sommeil, par exemple.

2.2.4 Le *burnout*

Le *burnout* ou syndrome d'épuisement professionnel correspond à un phénomène psychologique caractérisé par un épuisement émotionnel, une dépersonnalisation (détachement de ses propres processus mentaux et émotions) et une réduction de l'accomplissement (dévalorisation personnelle) (Smeds *et al.* 2020). Depuis quelques années, le *burnout* est également utilisé pour décrire des situations en relation avec le domaine familial, dans la mesure où les symptômes observés dans certaines formes d'engagement personnel (aidants familiaux, par exemple) sont identiques.

Le *burnout* fait suite à un stress professionnel devenu chronique. Les situations de stress professionnel qui peuvent entraîner un *burnout* sont celles qui demandent beaucoup d'engagement de la part d'un individu. De nombreuses professions demandant un investissement personnel et émotionnel important, telles que les professions de soins, l'enseignement et les métiers d'aide à la personne, sont concernées (Minem 2022). Il semble que les métiers les plus touchés soient ceux qui nécessitent de réprimer ses émotions et ceux qui demandent le plus d'empathie (Olié et Légeron 2016).

Les facteurs de risques susceptibles de conduire à un *burnout* sont la surcharge de travail, le manque de reconnaissance et de soutien, le manque d'équité, le manque d'autonomie, les conflits de valeurs ou les demandes contradictoires aux valeurs de l'individu, et le manque de moyens pour atteindre les objectifs (Minem 2022).

Le *burnout* est également décrit en dehors du domaine professionnel. Le *burnout* parental correspond à un état de stress prolongé conduisant à un épuisement des parents, ainsi qu'à une démotivation, voire à une distanciation vis-à-vis de leurs enfants (Roskam et Mikolajczak 2018). Les causes de ce *burnout* sont similaires à celles qui engendrent un *burnout* professionnel : la surcharge de travail, l'absence de contrôle sur la multitude de tâches liées à la parentalité, un idéal inatteignable du parent parfait, l'absence de droit à l'erreur (Lebert-Charron *et al.* 2018).

2.3 Physiopathogénie du stress

Face à un facteur de stress, trois types de réponses se produisent. Elles se distinguent par leurs différences de mise en œuvre, leur durée d'action et par le phénomène physiologique impliqué.

2.3.1 Réponse somatique réflexe

La première étape du stress repose tout d'abord sur la perception d'un stimulus (*i.e.* facteur de stress) par les organes sensoriels. Elle est facultative et *somatique*. Il s'agit d'une réponse réflexe, immédiate, permettant à l'individu, le cas échéant, de se soustraire rapidement à une menace immédiate pour l'intégrité tissulaire. Elle ne fait intervenir que les voies motrices et les muscles concernés. C'est le cas par exemple du réflexe de retrait de la main suite au déclenchement d'une douleur.

Cette sensation de douleur, transmise par d'autres voies ascendantes, n'est dans la plupart des cas perçue qu'après déclenchement de la réponse motrice (Silbernagl et Despopoulos 2002) (De Lahunta et Glass 2009), ce qui est souvent traduit familièrement par l'expression « Tu cries avoir d'avoir mal ». Cette étape est en effet indépendante de l'intégration par le cerveau.

Cette phase est bien sûr absente lorsque le facteur de stress est encore lointain, quoiqu'une réponse motrice puisse exister tout de même, comme dans l'exemple d'une proie qui relève brusquement la tête et oriente ses sens en direction du bruit ou de l'odeur d'un prédateur.

2.3.2 Activation orthosympathique précoce

La seconde phase, dont la mise en place est également très rapide, est typiquement neurovégétative et orthosympathique. L'ensemble du système orthosympathique est activé, et libère les catécholamines (noradrénaline dans les fentes synaptiques et adrénaline par les médullosurrénales), à l'origine de l'ensemble des effets biologiques qui caractérisent cette phase. Sa signification physiologique est double :

- placer le cerveau en état d'alerte et le préparer à l'action (fuite ou lutte de Cannon), réponse qualifiée d'éveil (en anglais, *arousal*) ;
- préparer l'organisme à un effort musculaire éventuel que présuppose tout comportement de fuite ou de lutte (Moisan et Le Moal 2012).

Cet effort musculaire nécessite en effet de l'oxygène, accompagné d'une intendance métabolique qui repose principalement sur la fourniture aux muscles squelettiques en quantité suffisante de glucose et d'acides gras libres plasmatiques nécessaires à leur activité. C'est bien la fonction physiologique du système orthosympathique. Il est stimulé et mis en jeu de façon globale, avec des effets (Silbernagl et Despopoulos 2002) :

- stimulants centraux et anorexigène (suppression des comportements de tranquillité éventuellement en cours et réaction d'éveil) ;
- bronchodilatateurs, favorisant l'hématose ;
- cardiostimulants (effet β_1 de l'adrénaline) et vasodilatateurs musculaires (effets β_2), ce qui améliore la perfusion et la distribution des nutriments vers les muscles squelettiques, associés à une vasoconstriction noradrénergique (α_1) dans les tissus sacrifiés comme la peau, ce qui en permet l'épargne et la redistribution ;
- hyperglycémiant, lipomobilisateurs et lipolytiques (effets β_2 et β_3), qui garantissent l'intendance énergétique.

En parallèle, certaines fonctions consommatrices d'énergie mais non nécessaires sont mises au ralenti. C'est le cas du système digestif et de la digestion.

Les phénomènes inflammatoires et immunitaires sont enfin précocement modifiés dans cette phase orthosympathique. La concentration périphérique (macrophage, cellules dendritiques) et centrale (astrocytes, neurones) de certains médiateurs de l'inflammation (interleukine-6, Interféron- γ) augmente (Olié et Légeron 2016), sous l'action des catécholamines, qui provoquent la libération de motifs moléculaires associés au danger (DAMP66). Ceux-ci stimulent une réponse inflammatoire (Kivimäki et Steptoe 2018).

2.3.3 Intégration centrale et réponse corticosurrénalienne retardée

En parallèle, le stimulus facteur de stress est intégré par le cerveau, impliquant un grand nombre de structures cérébrales qui interagissent entre elles de manière complexe, et dans lequel le système limbique, qui comprend notamment l'amygdale, l'hippocampe et l'hypothalamus, joue un rôle central.

2.3.3.1 Structures concernées

Le stimulus est capté par les organes sensoriels : vue, odorat, ouïe, goût, et toucher associés selon le cas à une stimulation nociceptive. L'information perçue est transmise par voie nerveuse jusqu'au cerveau par le biais des nerfs sensitifs. Dans certaines situations, le facteur de stress stimule plusieurs sens en même temps, générant plusieurs signaux. Les informations, encore à l'état brut à ce stade, subissent une intégration complexe dans le cerveau, c'est-à-dire que les signaux sont traités de manière à ce qu'ils soient rassemblés sous la forme d'une seule et même information cohérente (Tayeb *et al.* 2022), ce qui permet de garantir la production d'une réponse comportementale la plus adaptée possible.

L'association des structures concernées est schématiquement la suivante :

- arrivée du signal jusqu'aux différentes aires de projection corticales rattachées au sens qui les met en jeu : l'aire sensorielle somesthésique associée au toucher est localisée dans le lobe pariétal (Tayeb *et al.* 2022), l'aire visuelle dans le lobe occipital, l'aire auditive dans le lobe temporal, et les aires gustative et olfactive dans le lobe temporal (Silbernagl et Despopoulos 2002) ;

- transmission, dans le même temps, d'une copie de l'information sensorielle au système limbique (Figure 8), passant d'abord l'amygdale, qui transmet l'information au cortex préfrontal et à l'hippocampe. Ces trois structures interagissent de manière complexe pour intégrer l'information, et traduire le stimulus en une menace pour l'organisme ou non (Moisan et Le Moal 2012). Lorsque le stimulus est interprété comme une menace, l'hypothalamus est la première structure impliquée dans la cascade hormonale qui survient.

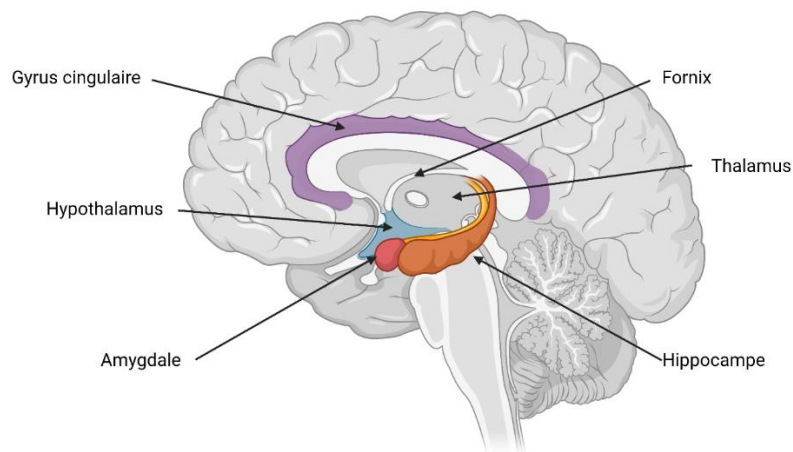


Figure 8 – Localisation des structures anatomiques du système limbique impliquées dans le stress

Commentaires de la Figure 8 : Le système limbique et ses différentes régions anatomiques permet l'intégration, la traduction et l'intégration d'un stimulus sensoriel comme une menace ou non. Les différentes structures dont l'amygdale, l'hippocampe et l'hypothalamus interagissent entre eux de manière complexe

L'amygdale, ou « centre des émotions », est une structure essentielle du système limbique. Elle est localisée dans le lobe temporal légèrement en avant de l'hippocampe. Elle permet l'association entre les émotions et les souvenirs (Zhang *et al.* 2022). C'est à travers elle que transitent les souvenirs personnels intenses ou saillants avant qu'ils ne soient traités par l'hippocampe, ce qui lui donne parfois le nom de centre de la mémoire émotionnelle (Martin *et al.* 2017). En d'autres termes, l'amygdale est la structure qui, par l'association du présent aux événements passés, peut permettre l'amélioration de la réponse comportementale de façon à la rendre encore plus efficace pour soustraire l'organisme à l'agression.

L'hippocampe, également situé dans le système limbique, joue un rôle central dans l'apprentissage et la mémorisation en favorisant la consolidation, c'est-à-dire l'organisation contextuelle de la mémoire à long terme, optimisant les chances d'évocation, de rappel et de traitement approprié des informations mémorisées. Dans le cadre du stress, il est impliqué dans la contextualisation du facteur de stress (Zhang *et al.* 2022)(Figure 9)(Figure 10).

Le cortex préfrontal, siège de la prise de décision, permet enfin de réguler la réaction de l'organisme en réponse au stimulus (Charmandari, Tsigos, et Chrousos 2005 ; Diorio, Viau, et Meaney 1993) et de déclencher la production de la réponse comportementale et motrice adaptée.

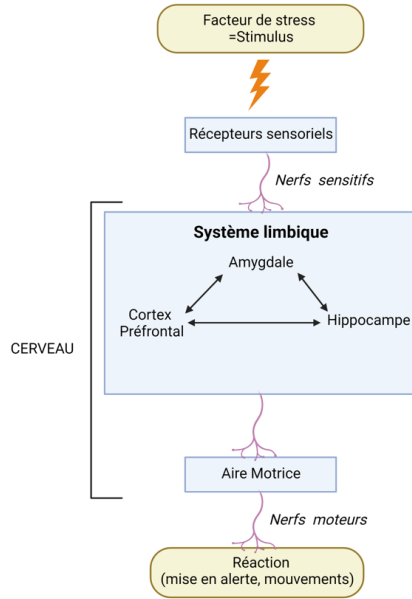


Figure 9 - Schématisation du parcours de l'information de la perception du facteur de stress (stimulus) à la réaction de l'organisme allant de la mise en alerte à la réalisation d'un mouvement

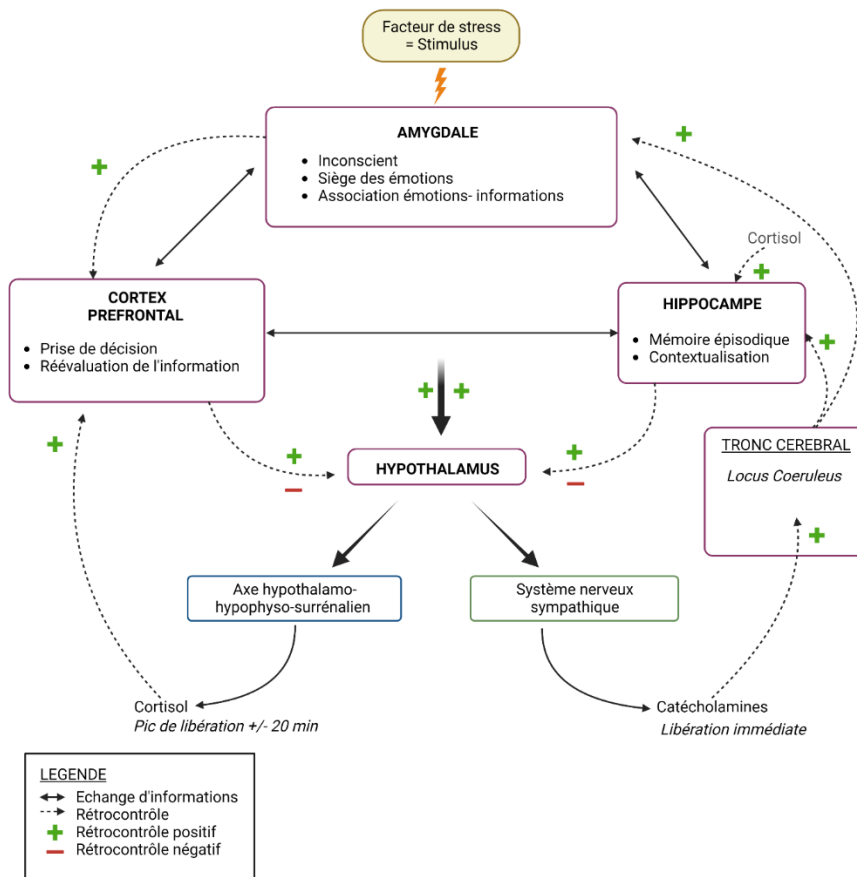


Figure 10 - Schéma des échanges d'informations au sein du système limbique à la suite d'un stimulus et rétrocontrôles existants une fois le stress déclenché

2.3.3.2 Voies efférentes

L'activation du circuit de décision cortical provoque l'activation des voies motrices, principalement pyramidales, assurant l'activité musculaire squelettique à l'origine de la fuite ou de la lutte.

Parallèlement, la mise en jeu des voies limbiques impliquent la libération de plusieurs neurotransmetteurs, dont la dopamine, la sérotonine, la noradrénaline et la corticolibérine, qui, en fin de chaîne, stimulent la libération de glucocorticoïdes par les glandes corticosurrénales (Moisan et Le Moal 2012).

Ces chaînes d'activation, postérieures à l'intégration centrale de l'information, explique que contrairement aux catécholamines orthosympathiques, qui sont sécrétées dans un délai très court, de l'ordre de 30 ms, et induisent une réaction très rapide, le cortisol, principal glucocorticoïde mis en jeu, atteint un pic de sécrétion en 20 à 30 minutes et provoque une réaction retardée.

2.3.3.3 Effets biologiques de la réponse retardée

La stimulation de l'axe hypothalamo-hypophyso-corticosurrénalien provoque une réponse plus lente, par le biais d'une cascade hormonale. La libération d'arginine-vasopressine (AVP) et de corticolibérine (CRH) par l'hypothalamus stimule la libération d'ACTH (hormone adrénocorticotrope) par l'hypophyse, qui provoque la libération de glucocorticoïdes par les glandes surrénales (cortex surrénalien) (Moisan et Le Moal 2012).

La signification biologique de la libération de cortisol est du même ordre que celle de l'activation orthosympathique, son rôle étant simplement d'en prolonger la durée à la fois par des stocks plus importants (les catécholamines synaptiques étant vite épuisées), et par un mécanisme d'action plus lent mais prolongé. Les catécholamines orthosympathiques, en effet, agissent via des récepteurs membranaires couplés aux protéines G, ce qui garantit une action très rapide, mais aussi peu durable (quelques minutes seulement). Le cortisol agit par l'intermédiaire de récepteurs intracellulaires qui modulent sur plusieurs heures l'expression des gènes qui en sont la cible, induisant des effets plus durables, bien utiles si l'agression perdure.

À moyen terme, le cortisol amplifie et prolonge donc les effets orthosympathiques, mobilise les réserves énergétiques adipocytaires et hépatiques, favorise la lipolyse et la néoglucogénèse, en redirigeant les nutriments ainsi produits vers la circulation sanguine et les muscles. A plus long terme, il exerce un effet catabolique plus général, qui peut atteindre l'intégrité musculaire (protéolyse).

Dans le même temps, quoique de façon moins puissante que les catécholamines, le cortisol exerce aussi une action cardiostimulante, et met en sommeil certaines fonctions non essentielles telles que la reproduction ou la croissance. De plus, il inhibe la libération de médiateurs de l'inflammation, ce qui conduit à une immunosuppression (Pillozzi *et al.* 2020). Si la situation stressante persiste ou s'intensifie, la sécrétion prolongée de glucocorticoïdes aboutit à une phase d'épuisement (Neuville et Yaïch 2019).

En parallèle de la libération d'ACTH, des β -endorphines sont libérées par l'hypophyse. Ces endorphines ont un effet analgésique, mais elles stimulent aussi la libération de cytokines anti-inflammatoires. Les effets analgésiant et anti-inflammatoire permettent de s'affranchir de la douleur dans la réponse au facteur de stress (Pillozzi, Carro, et Huang 2020).

Ce phénomène explique pourquoi certaines victimes d'accident de voiture, par exemple, ne se rendent compte de la perte d'un membre qu'en visualisant la blessure (Figure 11).

2.3.3.4 Contrôles régulateurs

La réponse au facteur de stress est contrôlée à plusieurs niveaux : au moment de l'intégration par le cerveau, et par des rétrocontrôles exercés par les catécholamines et par les glucocorticoïdes.

Au moment de l'intégration par le cerveau, selon la façon dont le facteur de stress est intégré par l'individu, la réponse est plus ou moins importante. Elle peut être tempérée par l'hippocampe, qui a un rôle dans la régulation de l'humeur et dans l'adaptation à l'environnement, mais aussi par le cortex préfrontal, qui est le centre de la prise de décision (Charmandari *et al.* 2005).

Par ailleurs, les concentrations en noradrénaline et en adrénaline sont perçues par le *locus coeruleus*, localisé dans le tronc cérébral. L'information remonte jusqu'à l'amygdale et permet au cerveau de réaliser une nouvelle évaluation de la situation (Bangasser et Shors 2010 ; Diorio, Viau, et Meaney 1993). De même, les glucocorticoïdes exercent un rétrocontrôle sur le cortex préfrontal et sur l'hippocampe (Silbernagl et Despopoulos 2002) (Fink 2012).

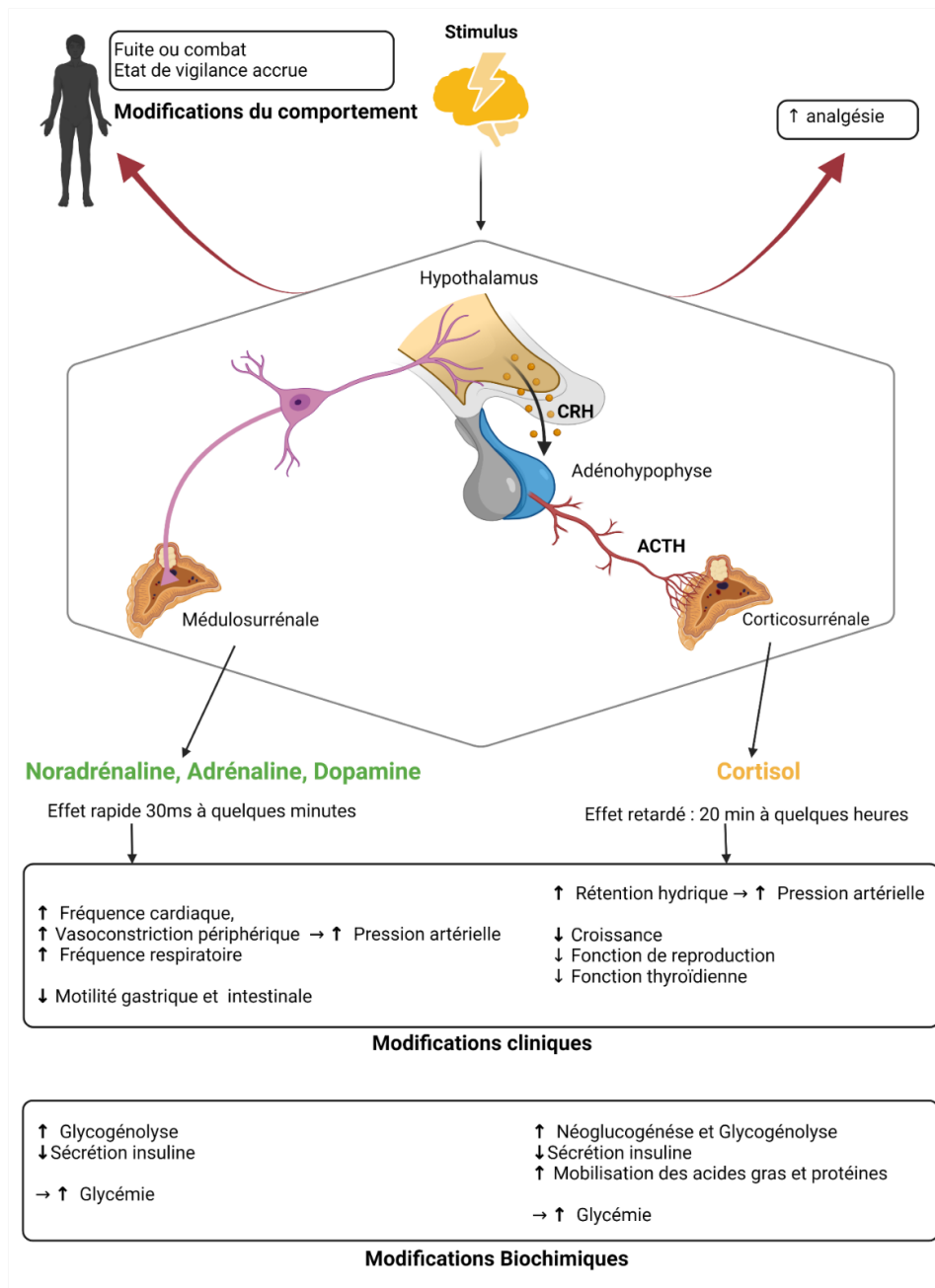


Figure 11 – Physiopathologie du stress et ses conséquences cliniques et biochimiques

2.3.4 Phase d'épuisement et stress chronique

La phase d'épuisement est liée à l'absence ou au dépassement du rétrocontrôle de la sécrétion de glucocorticoïdes. Elle correspond à la résignation apprise, au stress chronique, caractérisé par une activation chronique de l'axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien. Les complications observées, telles que le développement d'un syndrome métabolique, d'une maladie cardiovasculaire ou d'une dépression, sont liées à l'hypersécrétion prolongée de glucocorticoïdes, puis enfin à l'épuisement de sa production. Ses effets sur l'organisme sont donc multiples et touchent de nombreux systèmes (Tableau 1).

Tableau 1 - Effets généraux du stress chronique

Organe ou fonction	Effets du stress chronique	Conséquences
Amygdale	Hypertrophie irréversible des neurones	Augmentation de la peur, de l'anxiété et de l'agressivité
Hippocampe	Atrophie de l'arborisation neuronale dans l'hippocampe Diminution des connexions synaptiques Diminution du nombre de récepteurs au glutamate	Diminue les capacités de mémorisation
Cortex préfrontal	Atrophie réversible des neurones	Effet délétère sur l'attention, la mémoire de travail et l'adaptation du comportement
Fonction reproductrice	Inhibition des neurones qui sécrètent la GnRH	
Fonction thyroïdienne	Diminution de la sécrétion de FSH et de la conversion de l'hormone T4 en T3	
Système immunitaire	Inhibe l'inflammation	
Croissance	Diminution réversible de la sécrétion d'hormone de croissance	Retard de croissance, retard de puberté
Fonction cardiaque	Cardiomyopathie (syndrome de Takotsubo) Ischémie des vaisseaux coronaires	Risque d'infarctus
Métabolisme	Augmentation de la concentration sanguine en catécholamines et en cortisol	Syndrome métabolique Diabète de type 2
Santé mentale	Augmentation de la concentration sanguine en cortisol	Dépression
Douleur	Diminution de la concentration sanguine en cortisol et en corticoréline Résistance des récepteurs aux glucocorticoïdes	Douleur chronique

2.3.4.1 Remaniement direct des structures centrales

La sécrétion répétée ou prolongée de cortisol endommage les neurones de l'hippocampe. Cela a pour conséquence de lever l'inhibition exercée par l'hippocampe sur l'axe hypothalamo-hypophysé-surrénalienne, provoquant un emballement de la réponse au facteur de stress. Un cercle vicieux, associé à une hypersécrétion prolongée de glucocorticoïdes, se met alors en place (Sapolsky *et al.* 1986).

Cette hypothèse est confirmée par d'autres travaux, qui montrent que le stress chronique modifie l'arborisation neuronale dans l'hippocampe, provoquant son atrophie. Les connexions synaptiques entre neurones diminuent, ainsi que le nombre de récepteurs au glutamate. Ces modifications neuronales et structurales sont également observées au niveau de l'amygdale, dont les neurones s'hypertrophient, et du cortex préfrontal, dont les neurones s'atrophient (Raison et Miller 2003). Ces modifications sont réversibles une fois le stress levé, sauf l'hypertrophie de l'amygdale, qui est irréversible (Moisan et Le Moal 2012).

Les modifications neuronales et structurales du cortex préfrontal peuvent avoir un effet délétère sur l'attention, la mémoire de travail et l'adaptation du comportement. L'atteinte de l'hippocampe, qui joue un rôle dans la consolidation de la mémoire, influence négativement la mémorisation. Enfin, les modifications de l'amygdale se traduisent par une augmentation de la peur, de l'anxiété et de l'agressivité (Moisan et Le Moal 2012).

2.3.4.2 Impact sur les fonctions neuro-endocrines

Le stress chronique influence également la fonction reproductrice : une forte concentration plasmatique de cortisol a un effet inhibiteur sur les neurones qui sécrètent la GnRH et, par effet cascade, sur l'hypophyse puis sur les gonades, rendant les tissus cibles insensibles aux stéroïdes (Stratakis et Chrousos 1995). Chez la femme, le stress chronique est ainsi très souvent associé à un arrêt des cycles et une aménorrhée.

Le stress influence la fonction thyroïdienne en limitant la sécrétion de FSH et la conversion de l'hormone T4 en T3. Ainsi, chez certains sportifs de haut niveau, une faible concentration plasmatique en T3 est observée (Stratakis et Chrousos 1995). Une diminution réversible de la sécrétion d'hormone de croissance peut être observée lors de stress prolongé. Ainsi, un retard de croissance ou un retard de puberté sont notés chez certains enfants évoluant dans un contexte de privation émotionnelle ou de harcèlement psychologique. Une fois l'enfant écarté de l'environnement causal, la sécrétion d'hormone de croissance revient à un niveau usuel (Stratakis et Chrousos 1995).

2.3.4.3 Fonction cardiovasculaire

Des troubles cardiovasculaires peuvent également résulter d'un stress chronique. Le syndrome de Takotsubo, une cardiomyopathie induite par le stress, peut se manifester de façon transitoire. Ce syndrome découle d'une suractivité prolongée du système nerveux sympathique. Une ischémie des vaisseaux coronaires, résultant de la baisse du débit sanguin, peut être observée, multipliant par deux le risque de déclencher un infarctus du myocarde. Une arythmie cardiaque ou une fibrillation auriculaire et ventriculaire peuvent également apparaître en cas de stress prolongé (Golbidi, Frisbee, et Laher 2015 ; Kivimäki et Steptoe 2018).

Le stress chronique inhibe l'inflammation : des concentrations sanguines élevées et prolongées en cortisol limitent la libération des médiateurs de l'inflammation tels que l'interleukine-1 (IL-1) par les cellules de l'inflammation (monocytes, cellule Natural killer, lymphocytes B et T) (Pillozzi *et al.* 2020).

2.3.4.4 Fonctions digestives et métabolique

Dans de nombreuses espèces, le stress chronique est très souvent associé à l'émergence puis à l'aggravation d'érosions et d'ulcères gastroduodénaux, associés ou non à de fréquents épisodes de reflux gastro-œsophagien.

Il installe également un syndrome métabolique, terme qui désigne un ensemble de troubles généré par un dysfonctionnement du métabolisme en lien avec un excès de graisse viscérale dans la région abdominale. Il se traduit par une obésité abdominale, une hyperglycémie éventuellement associée à une résistance à l'insuline, une dyslipémie et une hypertension artérielle. Sur le long terme, un diabète de type 2 peut également apparaître. Le syndrome métabolique est favorisé par le surpoids, la sédentarité, l'absence d'exercice physique et une mauvaise alimentation (Maslov *et al.* 2019).

2.3.4.5 Effets psychiques

Des comportements dépressifs peuvent être induits par le stress chronique : environ 50% des sujets atteints de dépression présentent une augmentation de la concentration sanguine en cortisol. Après administration d'antidépresseurs, une normalisation de l'activité de l'axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien est observée (Blackburn-Munro et Blackburn-Munro 2001).

Le stress chronique favorise également l'apparition des douleurs chroniques. Deux hypothèses sont envisagées pour expliquer cette influence :

- une diminution des concentrations sanguines en cortisol et en corticoréline (CRH) en lien avec la diminution de l'activité de l'axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien apparaissant dans la phase d'épuisement du stress (Blackburn-Munro et Blackburn-Munro 2001) ;
- une résistance des récepteurs aux glucocorticoïdes, qui entrainerait l'apparition de douleur chronique par absence de réponse au cortisol (Hannibal et Bishop 2014).

Par ailleurs, 50% des sujets souffrant de douleur chronique présentent également des comportements dépressifs (Blackburn-Munro et Blackburn-Munro 2001) (Demitrack et Crofford 1998).

2.4 Évaluation du stress

Depuis les travaux de Selye, de très nombreux travaux ont eu pour but d'objectiver et si possible de quantifier les situations de stress. De nombreuses méthodes et techniques d'évaluation ont alors été proposées. Elles sont de deux types :

- la mesure de paramètres physiques et moteurs (gestes et postures), physiologiques (par exemple température ou conductance cutanée, diamètre pupillaire fréquence cardiaque, variabilité de la fréquence cardiaque, fréquence cardiaque, ECG, EEG), ou de constantes biologiques (glycémie, dosage des catécholamines ou de leurs métabolites, concentration sanguine, salivaire ou fécale du cortisol) ;
- des enquêtes psychométriques, fondées essentiellement sur des auto-évaluations à partir de questionnaires, assorties ou non d'échelles semi-quantitatives.

Les résultats de ces travaux ont le plus souvent été décevants. D'une part, la plupart des paramètres choisis isolément ne suffisent pas à eux seuls à mesurer le stress, et ils doivent être associés pour rendre compte au mieux du niveau de stress. En outre, étant donné la variabilité des réponses produites après intégration centrale et adéquate aux expériences passées des individus, la mesure de certains paramètres ne peut être interprétée que par comparaison des valeurs obtenues avec celles d'autres individus ou groupes placés dans des conditions similaires ou, au contraire, qui ne subissent pas de stress.

Les paramètres qui présentent le plus d'intérêt dans l'évaluation du stress, classés selon leur degré de fiabilité, leur fréquence d'exploitation dans la littérature et le caractère intrusif de l'instrument de mesure, sont décrits dans le Tableau 2 (Sharma et Gedeon 2012) .

Tableau 2 - Classement des paramètres utilisables pour évaluer le stress en fonction de leur degré de fiabilité, de leur fréquence d'exploitation dans la littérature et de leur caractère intrusif pour l'individu (Sharma et Gedeon 2012)

Classement	Paramètre évalué pour mesurer le niveau de stress d'un individu
1	Activité cardiaque (contractilité et fréquence cardiaque)
2	Conductance cutanée
3	Activité cérébrale (ondes électriques)
4	Diamètre de la pupille
5	Directions du regard (distribution spatiale du regard et mouvements saccadés)
6	Pression artérielle
7	Température de la peau de la phalange distale du doigt
8	Oxymétrie de pouls
9	Fréquence de clignement des paupières
10	Activité musculaire (activité électrique du muscle)

2.4.1 Évaluation des variations des paramètres physiques

Les paramètres physiques présentent l'intérêt de pouvoir être observés à l'œil nu et permettent de mesurer le stress (Tableau 3). Il s'agit de signaux physiques tels que des gestes, des mouvements ou des modifications de l'expression du visage (Sharma et Gedeon 2012).

Tableau 3 - Constantes physiques utilisables pour évaluer le stress

Indicateur	Mode de mesure	Fiabilité	Interprétable seul	Examen invasif	Références
Distribution spatiale du regard et mouvements saccadés	Capteur visuel / Dispositif de suivi oculaire	Oui	Oui Quantifie	Non	(Wenhui Liao <i>et al.</i> 2005)
Dilatation de la pupille	Capteur visuel / Dispositif de suivi oculaire	Oui	Oui Diagnostique	Non	(Barreto <i>et al.</i> 2007)

Le stress peut être mesuré par évaluation de la distribution spatiale du regard et du pourcentage de mouvements saccadés des yeux, ainsi que la fréquence de clignement des paupières : lors de stress, l'individu tend à fixer son regard de manière plus prolongée sur des objets de son environnement et la fréquence de clignement augmente. La mesure du stress peut être réalisée grâce à des systèmes de suivi des mouvements des yeux et des clignements des paupières. La mesure simultanée de ces paramètres, réalisée à l'aide de capteurs visuels, permet de quantifier le niveau de stress (Wenhui Liao *et al.* 2005).

L'augmentation du diamètre de la pupille, observée lors de stress, peut être utilisée dans la détection du stress. Cependant, cette évaluation manque de sensibilité car de nombreuses autres causes peuvent engendrer une dilatation de la pupille.

Pour l'interprétation de cette mesure dans l'évaluation du stress, il est donc nécessaire de se référer à une valeur moyenne des diamètres des pupilles sur une période donnée. Le diamètre pupillaire peut être mesuré grâce à un dispositif de suivi oculaire basé sur deux caméras séparées avec émetteurs, tel que le dispositif FaceLAB® (Figure 12) (société australienne Seeing Machines) (Barreto *et al.* 2007). D'autres dispositifs portatifs, tels que des lunettes connectées (Tobii Pro Glasses 3®, Tobii) sont également utilisables (Figure 13) (Vincze *et al.* 2022).



Figure 12 - Exemple de dispositif de suivi oculaire fixe (dispositif FaceLAB®, Seeing Machines)
(<https://www.tobii.com/>)



Figure 13 – Exemple de dispositif de suivi oculaire portatif (dispositif Tobii Pro Glasses 3®, société Tobii)
(<https://seeingmachines.com/>)

2.4.2 Évaluation des variations des paramètres physiologiques et biologiques

Le stress peut être mis en évidence à travers la variation de nombreux paramètres biologiques (Tableau 4). Le nombre de paramètres nécessaires pour confirmer un état de stress varie selon leur nature. Ainsi, la mesure de la conductance cutanée suffit à elle seule à conclure. Inversement, la mesure de la pression artérielle ou de la température de la peau nécessitent une confirmation par la mesure d'un ou de plusieurs autres paramètres.

Par ailleurs, leur niveau de fiabilité, sur le plan des résultats obtenus est également très variable. Les variations de la conductance cutanée, de l'activité cardiaque et de l'activité cérébrale apparaissent comme des paramètres fiables (Jacobs *et al.* 1994), alors que l'augmentation de l'activité musculaire ou l'oxymétrie de pouls semblent manquer d'exactitude, même si ces paramètres permettent d'informer sur le niveau de stress d'un individu (Wijsman *et al.* 2013).

Tableau 4 - Constantes biologiques utilisables pour évaluer le stress

Indicateur	Mode de mesure	Fiabilité	Interprétable seul	Examen invasif	Références
Augmentation de la conductance cutanée	Brassards digitaux	Oui	Oui Diagnostique	Non	(Kim <i>et al.</i> 2019)
Augmentation de la contractilité et de la fréquence cardiaque et diminution d'amplitude de l'ECG	ECG	Oui	Oui Diagnostique	Non	(Sharma et Gedeon 2012) (Ehlers et Todd 2017)
Augmentation du potentiel d'action de l'activité cérébrale au-delà de 100 microvolts	EEG	Oui	Oui Diagnostique	Non	(Chaudhuri, Soma 2021)
Augmentation de l'activité cérébrale	Scanner	Oui	Oui Diagnostique	Oui	(Chaudhuri, Soma 2021)
Augmentation de l'activité cérébrale	IRM	Oui	Oui Diagnostique	Oui	(Chaudhuri, Soma 2021)
Augmentation de la pression artérielle	Brassard	Oui	Oui Diagnostique	Non	(Sharma et Gedeon 2012)
Diminution de la température de la peau	Capteurs digitaux	Non	Non	Non	(Sharma et Gedeon 2012)
Augmentation de l'activité musculaire	Electromyogramme	Non	Non	Oui	(Healey et Picard 2005)
Augmentation de la fréquence et diminution du volume respiratoire	Ceinture thoracique	Non	Non	Oui	(Sharma et Gedeon 2012)
Augmentation de l'oxymétrie de pouls	Capteur digital	Non	Non	Non	(Sharma et Gedeon 2012)

2.4.2.1 Mesure de la conductance cutanée

La réponse cutanée galvanique ou conductance cutanée est une méthode de mesure basée sur les propriétés bioélectriques de la peau. Elle repose sur l'activité électrique des glandes sudoripares, celles-ci étant contrôlées par le système nerveux sympathique.

Lors de stress, des influx nerveux centraux activent les glandes sudoripares et la conductance cutanée augmente. Cette augmentation est indépendante des variations de la fréquence cardiaque et de la pression artérielle. C'est donc un indicateur intéressant lorsqu'il s'agit d'évaluer le stress de personnes souffrant de troubles cardiaques ou d'hypertension artérielle (Jacobs *et al.* 1994).

Cette évaluation repose sur la mesure des variations de potentiels électriques à la surface de la peau, à l'aide de brassards placés sur les doigts (EdaMove3, société Moviesense, ou Mindfield eSense skin response, société Mindfield biosystems). Cette méthode de mesure présente l'avantage d'être peu invasive (Figure 14, Figure 15).

La conductance cutanée est un indicateur fiable du stress, qui peut être utilisé seul (Hickey et al. 2021 ; Rahma et al. 2022).



Figure 14 - Exemple de dispositif de mesure de la conductance cutanée : Capteur EdaMove3® (Moviesense®, Allemagne) (<https://www.moviessens.com/fr/>)



Figure 15 - Exemple de dispositif de mesure de la conductance cutanée : Capteur Mindfield eSense skin response®, (Mindfield Biosystems®, Allemagne) (<https://www.mindfield-esense.com/>)

2.4.2.2 Mesure de l'activité cardiaque

La mesure des variations de l'activité cardiaque, effectuée au moyen d'un ECG, est aussi un paramètre fiable de l'évaluation du stress (Ehlers et Todd 2017). Lors de stress aigu, la contractilité et la fréquence cardiaque augmentent.

Par ailleurs, la vasoconstriction périphérique engendrée par une situation de stress se traduit par une diminution d'amplitude de l'ECG (Sharma et Gedeon 2012). Les variations de l'activité cardiaque sont donc un moyen fiable d'évaluer le stress (Ehlers et Todd 2017). L'augmentation de la fréquence cardiaque ne va cependant pas informer sur le niveau de stress mais uniquement sur la présence du stress. Plus récemment, il a été proposé d'utiliser la variabilité de la fréquence cardiaque, fondée sur l'analyse spectrale des intervalles entre les battements. Cette analyse, par un système de transformées de Fourier, permet d'identifier un domaine parasympathique, et une composante orthosympathique, selon les phases de ralentissement ou d'accélération, qui sont nettement remaniés en cas de stress chronique (Kim et al. 2019). Certains objets connectés, comme les montres Watch® d'Apple®, exploitent sa mesure.

2.4.2.3 Mesure de l'activité cérébrale

L'activité cérébrale subit des variations lors de stress (Mahdi *et al*-Hajaj 2012). Celles-ci peuvent être mesurées par imagerie médicale grâce à la résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), la tomographie par émission de positrons (scanner) et au moyen d'un électro-encéphalogramme (EEG) qui transcrit l'activité électrique du cerveau sous forme de tracé.

L'EEG évalue l'activité cérébrale à partir de la mesure des ondes électriques complexes, enregistrées au niveau du cuir chevelu, et dont le potentiel d'action perçu varie habituellement de quelques μV à $100 \mu\text{V}$ (Chaudhuri, Soma 2021 ; Sharma et Gedeon 2012). Il retranscrit les variations électriques sous forme de tracé. En fonctions des ondes observées et de leurs variations de fréquences, il est possible de détecter le stress chez l'individu.

Il existe cinq types d'ondes (Figure 16). Les ondes Theta et Delta apparaissent lors des phases de sommeil. Les ondes Theta sont observées lors des phases de faible conscience ou de sommeil léger, les ondes Delta lors de sommeil profond ou de coma. Les ondes Gamma sont observées lors d'activité mentale intense (calculs complexes, résolution de problèmes, concentration extrême), les ondes Alpha lors de relaxation et les ondes bêta, lors de mise en alerte ou d'anxiété.

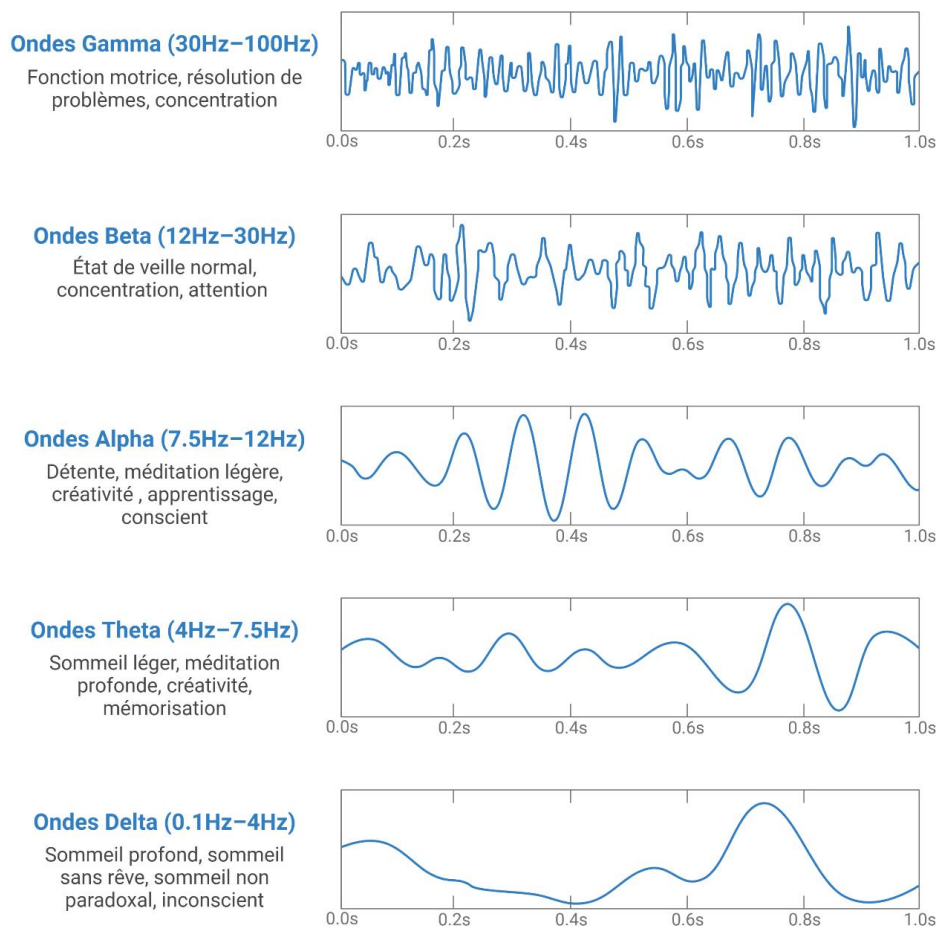


Figure 16 - Diagramme des cinq types d'ondes cérébrales

Une augmentation de la fréquence des ondes alpha, conduisant à l'apparition d'ondes beta, permet de conclure à la présence du stress. De plus, lorsque les facteurs de stress sont perçus négativement, l'activité cérébrale de l'hémisphère droit est supérieure à celle de l'hémisphère gauche (Horlings *et al.* 2008).

L'EEG permet aussi de mesurer des différences de niveaux de relaxation chez l'individu (Sharma et Gedeon 2012), ce qui en fait un indicateur plus précis que des paramètres comme la pression artérielle, par exemple. Cependant, l'EEG ne permet pas de quantifier le niveau de stress.

La mesure de l'activité neuronale cérébrale peut être réalisée avec des dispositifs plus ou moins complexes d'électrodes appliquées sur le cuir chevelu, qui vont d'une simple paire d'électrodes à des électrodes multiples réparties dans un casque (Figure 17).



Figure 17 - Exemple de dispositif de mesure de l'activité neuronale cérébrale utilisé pour établir un électro-encéphalogramme (casque Emotiv EPOQ®)

L'activation de certaines zones du cerveau et de certains réseaux neuronaux lors de stress peut être mise en évidence par imagerie médicale (scanner ou IRM). Par exemple, lorsque qu'un individu est soumis à des facteurs de stress associés à des sentiments d'ordre négatif, une augmentation de l'activité cérébrale est observée dans l'hémisphère droit. De même, une augmentation de l'activité nerveuse dans l'amygdale est visible chez les personnes anxieuses (Sharma et Gedeon 2012). La réalisation de ces examens est moins accessible, car plus coûteuse et plus invasive que la réalisation d'un électroencéphalogramme.

2.4.2.4 Mesure de la pression artérielle

La pression artérielle est la pression exercée sur la paroi des vaisseaux sanguins par le sang, elle est mesurée à l'aide d'un brassard. Lors de stress, la pression artérielle moyenne, définie comme une pression théorique qui reflète la perfusion des organes vitaux, augmente (Sharma et Gedeon 2012).

La mesure de la pression artérielle ne peut servir à elle seule à évaluer le stress, car elle varie d'un individu à l'autre ou lorsque des affections concomitantes sont présentes.

2.4.2.5 Mesure de la température cutanée

La température de la peau diminue lors de stress, en raison de la vasoconstriction périphérique. Ce changement de température est plus marqué au niveau des mains. Il peut être mesuré à l'aide d'un capteur placé sur la phalange distale d'un doigt (Sharma et Gedeon 2012).

Comme la pression artérielle, la mesure de la température cutanée ne permet pas d'évaluer le stress à elle seule et doit être confrontée aux résultats de la mesure d'autres paramètres.

2.4.2.6 Mesure de l'activité musculaire

L'électromyogramme peut permettre de mettre en évidence l'augmentation de l'activité musculaire qui se produit lors de stress. Cependant, cette méthode est moins fiable qu'un ECG (Healey et Picard 2005).

2.4.2.7 Mesure de la fréquence et du volume respiratoire

La mesure de la fréquence et du volume respiratoire peut également fournir des indications dans l'identification du stress. Lors de l'exposition à un facteur de stress, une augmentation de la fréquence respiratoire et une diminution du volume respiratoire sont observées. Les ceintures thoraciques utilisées pour les mesures sont souvent lourdes et inconfortables, ce qui peut générer un stress et interférer avec les résultats. Il est donc nécessaire de recourir à des mesures complémentaires, effectuées sur d'autres paramètres.

2.4.2.8 Mesure de l'oxymétrie de pouls

Une augmentation de l'oxymétrie de pouls se produit en situation de stress (Sharma et Gedeon 2012). Elle se mesure facilement à l'aide d'un capteur positionné sur la dernière phalange de l'un des doigts.

Cependant, ce paramètre ne suffit pas à lui seul à conclure à un état de stress.

2.4.3 Évaluation des variations du cortisol

Le stress peut être mis en évidence par la mesure du cortisol (Tableau 5).

Tableau 5 – Paramètres biochimiques utilisables pour évaluer le stress

Indicateur	Mode de prélèvement	Fiabilité	Interprétable seul	Examen invasif	Références
Concentration sanguine en cortisol	Prélèvement sanguin	Oui	Non	Oui	(Adam <i>et al.</i> 2017)
Concentration salivaire en cortisol	Ecouvillonnage salivaire	Oui	Non	Non	(Lee <i>et al.</i> 2015)
Concentration capillaire en cortisol	Prélèvement capillaire	Oui	Oui Diagnostique	Non	(Iob et Steptoe 2019)

Le cortisol est une molécule lipophile de faible poids moléculaire, qui entre passivement dans les cellules. Cette propriété permet de le mesurer dans un grand nombre de fluides corporels (sang, salive, urine, ...). Le cortisol sanguin est transporté à 90% par des protéines, les 10% restants ou cortisol libre constituant la fraction hormonale biologiquement active (Lee *et al.* 2015).

La concentration sanguine de cortisol augmente en situation de stress. Son dosage représente donc un moyen de l'évaluer. Cependant, chez un même individu, elle varie au cours de la journée : elle est plus élevée le matin vers huit heures, et diminue le soir et pendant les premières phases de sommeil (sommeil léger puis profond). Environ quarante minutes après le réveil, le niveau de cortisol augmente de 50 à 60%, puis chute rapidement dans les heures qui suivent (Adam *et al.* 2017). Ainsi, chez un homme sain (*i.e.* en dehors de toute situation de stress), les concentrations sanguines journalières en cortisol varient entre 89,4 nmol/L et 594,8 nmol/L (Eisenhofer *et al.* 2017).

De plus, les valeurs obtenues varient selon un très grand nombre de critères (dont le sexe, l'âge et l'état de santé). Il n'est donc pas possible de comparer une valeur unique obtenue chez un individu à une fourchette de référence (Lee *et al.* 2015). Pour évaluer les variations de concentrations de cortisol en lien avec un état de stress, il est donc nécessaire de s'appuyer sur les résultats obtenus dans un groupe témoin et dans un groupe en situation de stress, afin de pouvoir comparer les variations des concentrations.

Les modalités de prélèvements influencent également le résultat obtenu. Le cortisol sanguin est évalué à partir de prélèvements, qui nécessitent une ponction veineuse. Or, celle-ci peut représenter un facteur de stress important pour certaines personnes, ce qui fausse le résultat.

Le cortisol peut aussi être dosé dans la salive ou dans les follicules pileux. Le cortisol salivaire est facile à prélever, le prélèvement étant répétable et peu invasif. Cependant comme pour le cortisol sanguin, des variations de concentrations de l'ordre de 72 % peuvent être observées. Il est donc nécessaire de s'appuyer sur des comparaisons de valeurs pour l'interprétation (Lee *et al.* 2015).

Le dosage du cortisol dans les follicules pileux présente l'intérêt de fournir des informations sur l'exposition à long terme au cortisol, qui permette d'évaluer rétrospectivement la durée d'un stress chronique (Adam *et al.* 2017). Sachant qu'un cheveu croît à raison d'un centimètre par mois, le dosage de différentes portions du même cheveu permet de déterminer la production de cortisol sur quelques semaines à quelques mois (Iob et Steptoe 2019).

2.4.4 Évaluations psychométriques à partir de questionnaires

Le stress peut être évalué à partir de questionnaires personnels, permettant d'établir des grilles ou des scores et de construire des échelles de mesure. Selon les cas, la mesure est directe et vise à objectiver l'état de stress proprement dit, dans sa composante psychique après intégration centrale, tandis que dans d'autres cas, il s'agit plutôt de mesures d'anxiété, avec le risque de boucles d'auto-entretien faussant la validité de la mesure. La dimension subjective étant finalement l'objet même de la mesure, cette distinction n'est finalement pas prise en compte et ce type de mesure est très employé.

Les principaux questionnaires reconnus comme valides, parce qu'ils ont fait l'objet d'une validation statistique dans des conditions acceptables, sont :

- le *Perceived Stress Scale* (PPS), qui renseigne sur le stress perçu par l'individu ;
- la Mesure du Stress Physiologique (MSP) qui donne des indications sur le ressenti de l'état de stress par un individu ;
- le *State-Trait Anxiety Inventory* (STAI), qui évalue le niveau d'anxiété de l'individu.

Ces questionnaires permettent de diagnostiquer le stress mais pas de le quantifier.

2.4.4.1 *Le Perceived Stress Scale (« échelle de perception du stress »)*

Le *Perceived Stress Scale* évalue la fréquence avec laquelle des situations sont perçues comme un facteur de stress chez l'individu. Les questions concernent des situations de la vie quotidienne ou des situations professionnelles considérées comme non prévisibles, incontrôlables ou pénibles. Il évalue la fréquence avec laquelle un individu rencontre des situations qu'il juge stressantes, c'est-à-dire qui représentent une menace pour lui. Ce questionnaire explore donc le stress perçu, ou stress subjectif (Cohen *et al.* 1983). Trois versions du PSS sont disponibles : PSS 14, PPS 10 ou PPS 4, chaque chiffre représentant le nombre de questions que comporte le test. Chaque test permet le calcul d'un score global et, pour le PPS 10 et le PPS 14, d'établir deux sous-scores complémentaires : un sous-score « détresse perçue » et un sous-score « capacité perçue à faire face ». Le PSS est considéré comme un questionnaire fiable, non spécifique d'un milieu (travail ou vie quotidienne). Cependant, il ne permet pas de faire la différence entre le stress perçu et la détresse psychologique (Langevin *et al.* 2015). Quelle que soit la forme du questionnaire choisi, le résultat est diagnostique et sa version française est validée (Langevin *et al.* 2015).

2.4.4.2 *La mesure du stress physiologique*

La mesure du stress physiologique (MSP) donne des informations sur le ressenti de l'individu, indépendamment des facteurs de stress. Les questions sont réparties en trois catégories : socio-affective, cognitive et somatique. Le questionnaire existe sous plusieurs formes : une version de 49 items, deux versions de 25 items (MSP-A et MSP-B), et une version de neuf items. Les différentes versions ne diffèrent que par le temps de remplissage. La version de 25 items est développée à partir d'une répartition aléatoire de questions, choisies dans les mêmes proportions au sein de chaque catégorie. Le score final obtenu au questionnaire permet de renseigner sur l'état de stress d'un individu (Langevin *et al.* 2012). Le français québécois est la langue d'origine dans laquelle ce questionnaire a été validé.

2.4.4.3 *Le State-Trait Anxiety Inventory*

L'anxiété est un facteur de stress qu'il est intéressant de mesurer. En effet, l'anxiété joue un très grand rôle dans le déclenchement du stress intrinsèque. Dans les situations où le stress est lié à une anticipation de la menace, la diminution de l'anxiété peut retarder le déclenchement du stress.

Le *State-Trait Anxiety Inventory* (STAI) évalue l'anxiété d'un individu (appréhension, tension), mais aussi l'anxiété en tant qu'émotion (sentiment d'être tendu, de ressentir de l'appréhension). La version STAI Y-A (*state*) du test évalue le niveau d'anxiété ou le ressenti d'un individu sur le moment et en rapport avec une situation spécifique. La version STAI Y-B (*trait*) évalue le ressenti général de l'individu (Ehlers et Todd 2017 ; Loannis Pavlidis *et al.* 2019). La langue d'origine du questionnaire est l'anglais, mais il en existe deux versions françaises, l'une en français (Bruchon-Schweitzer et Paulhan) et l'autre en français québécois (Gautier et Bouchard) en 1993. Ces deux versions sont validées (Langevin *et al.* 2012).

2.4.4.4 *Autres questionnaires*

D'autres questionnaires, tels que le BRCS (*Vief resilient coping scale*) ou le SWOP K9 (*questionnaire for self-efficacy, optimism and pessimism*), évaluent la capacité de résilience de l'individu, ou son potentiel de résistance au stress à travers des traits de personnalité tels que la confiance en soi ou l'optimisme (Mache *et al.* 2015). Ils ne mesurent donc pas le stress, mais le potentiel de réponse de l'individu à un facteur de stress.

3 INFLUENCE DU STRESS SUR L'APPRENTISSAGE

L'influence du stress sur les facultés d'apprentissage est connue de longue date. Dès l'école, les enfants expriment l'idée qu'ils sont susceptibles de « perdre leurs moyens » s'ils sont exposés, d'eux-mêmes ou à cause de leur enseignant, à des facteurs de stress, pendant leur formation ou lors des examens. D'autres, moins nombreux, attestent d'un côté stimulant du stress, qui augmente leur concentration, leurs facultés d'analyse ou leur rapidité de traitement.

Le stress aigu, selon les cas et les individus, peut en effet avoir différentes influences sur l'apprentissage, tant quantitatives que qualitatives, et positives comme négatives. Les trois facettes de l'apprentissage, les domaines cognitif, socio-affectif et psychomoteur, sont concernés. Sur le plan cognitif, le délai entre le début de l'apprentissage et l'exposition au facteur de stress est important et peut favoriser ou non la consolidation et le stockage de l'information dans les mémoires à long terme. Le contexte du stress joue également un grand rôle dans la mesure un stress non corrélé à l'apprentissage n'est pas bénéfique. Enfin, un stress aigu favorise l'apprentissage s'il est de nature psychologique, permettant alors la mémorisation d'informations dites saillantes. Sur le plan socio-affectif comme sur le plan psychomoteur, on retrouve les mêmes grands traits d'influence du stress aigu sur la fermeture des apprentissages.

L'influence du stress chronique est globalement négative. Il modifie défavorablement la façon dont l'apprentissage se réalise, en favorisant l'utilisation de schémas de pensée déjà maîtrisés par l'apprenant, et de nature à le rassurer, ce qui limite alors fortement l'apprentissage.

Dans un contexte éducatif, et notamment en formation professionnelle, il est important de considérer que selon le vécu de l'apprenant et sa tendance à l'anxiété, le stress n'est pas le même et les conséquences sur l'apprentissage bien différentes. C'est d'ailleurs pourquoi - pour des raisons pédagogiques et plus seulement éthiques -, le recours à la simulation médicale s'est largement et rapidement développé dans le cadre des études médicales et paramédicales. Il peut s'agir d'exercices visant à l'apprentissage de gestes techniques, mais aussi d'exercices de mise en situation plus complètes, comportant une part de gestes, mais également la prise en compte de patients simulés, de leur entourage, dans différents niveaux d'urgence, critique ou non, mais toujours sans la pression surajoutée du réel et le très fort stress qu'elle engendre. La simulation apporte un véritable plus dans le cursus de l'apprenant. Elle améliore l'apprentissage des gestes, des techniques, des procédures, du travail en équipe, mais elle permet également d'augmenter la résistance aux facteurs de stress et de retarder le déclenchement du stress notamment dans des situations dites critiques. En clair, la simulation permet d'intégrer le stress dans l'apprentissage, au bon moment, afin de ne bénéficier que de ses effets positifs, de gommer son influence négative et d'accompagner les apprenants dans sa gestion.

Dans un premier temps, nous nous intéresserons donc aux conditions de stress. Nous verrons en quoi il peut être bénéfique ou non pour l'apprentissage. Nous développerons ensuite la notion de stress en contexte scolaire et ses conséquences sur l'apprentissage. Enfin nous parlerons de la simulation et de ses applications dans le cursus de l'apprenant.

3.1 Influence des conditions associées au stress sur l'apprentissage

Plusieurs conditions périphériques au stress ont été identifiées comme susceptibles de retentir sur l'apprentissage :

- le délai entre l'apparition du stress et la mise en situation d'apprentissage ;
- le lien entre le stress et le contexte d'apprentissage ;
- la nature physique ou psychologique du stimulus stressant ;
- la nature aiguë ou chronique du stress.

3.1.1 Influence du délai entre le stress aigu et l'apprentissage

Le délai qui s'écoule entre le déclenchement du stress aigu et l'apprentissage influence le processus de traitement des informations, notamment la mémorisation, d'une façon qui peut être positive ou négative. Ces effets dépendent de l'action des catécholamines et des glucocorticoïdes selon l'étape de mémorisation où ils vont intervenir. Le stress aigu a en effet deux conséquences opposées sur la mémorisation selon le moment où il se déclenche (Figure 18) (Schwabe *et al.* 2012).

Il a un effet positif si les facteurs de stress sont présents au tout début de l'apprentissage. Dans ce cas, on observe un pic de catécholamines, en provoquant la réaction d'éveil, qui favorise principalement le processus d'encodage et donc la mémorisation à court et à long terme. Les effets bénéfiques du stress dans ces conditions s'observent si le stress est déclenché jusqu'à 15 minutes avant le début de l'apprentissage (Joëls *et al.* 2006). De plus, la concentration de glucocorticoïdes augmente dans ce cas au moment de la consolidation de la mémoire et favorise la rétention de l'information (Schwabe *et al.* 2012). Au-delà de ces effets sur la trace mnésique elle-même, le stress généré immédiatement avant l'apprentissage favorise aussi la restitution à long terme (au-delà de 24 heures), c'est-à-dire l'utilisation de l'information stockée par l'évocation libre ou le rappel (Zoladz *et al.* 2011).

La mémorisation de l'information est favorisée dans ces conditions car, soumis à un stress, un individu intègre l'information comme un souvenir dit « saillant » et la charge émotionnelle liée à l'information la rend plus facile à retenir qu'une information neutre. Les exemples puisés dans la vie quotidienne corroborent ce fait. Il est d'usage de dire qu'on forme un souvenir beaucoup plus aigu et durable des situations personnelles et familiales fortement stressantes que d'autres périodes plus heureuses.

À l'opposé, le stress exerce un effet néfaste sur l'apprentissage si celui-ci est déclenché trop en amont de la phase d'apprentissage. Dans ce cas, ce sont les glucocorticoïdes qui dominent et exercent leur influence sur l'apprentissage au moment de l'encodage. Dans ces conditions, le processus d'encodage de la mémoire favorisé par l'hippocampe et l'amygdale est fortement inhibé, limitant par la suite la consolidation de l'information, donc sa mémorisation (Schwabe *et al.* 2012).

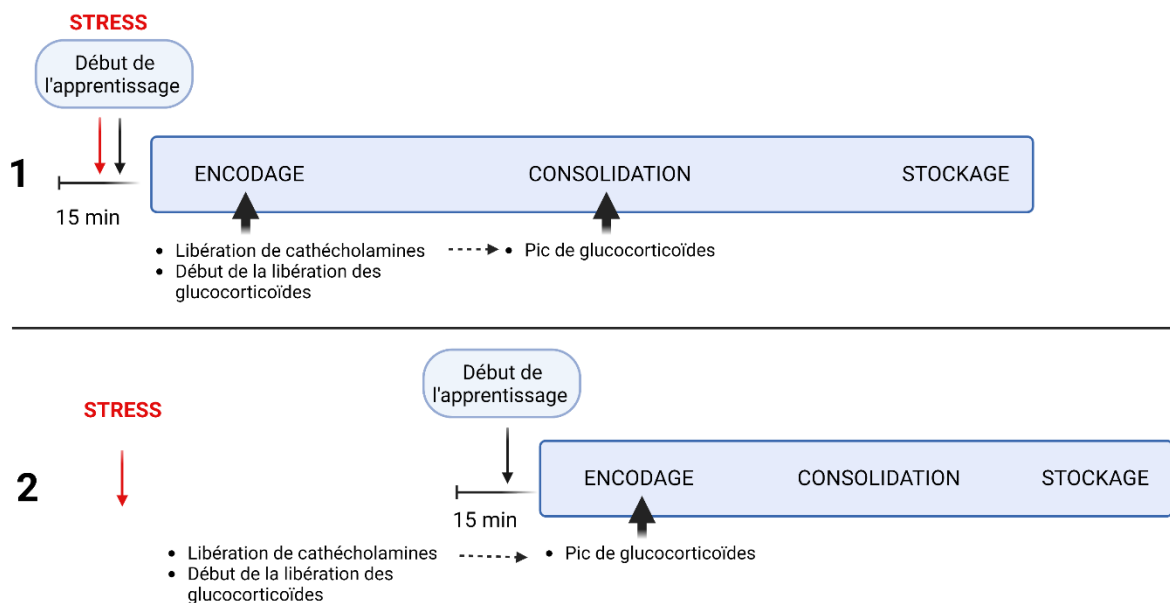


Figure 18 - Influences du stress sur l'apprentissage selon le délai entre le début du stress et le début de l'apprentissage

Commentaires de la Figure 18 : Dans le cas du scénario 1, le pic de glucocorticoïdes intervient pendant la phase de consolidation et favorise la consolidation, la suppression d'informations inutiles ainsi que le stockage. Dans le cas du scénario 2, le pic de glucocorticoïdes intervient au cours de l'encodage limitant par la suite les processus de consolidation et de stockage (Schwabe et al. 2012)

3.1.2 Influence du lien entre le stress aigu et le contexte d'apprentissage

L'apprentissage est favorisé si le stress est lié au contexte d'apprentissage, c'est-à-dire lorsque le facteur de stress est en rapport avec le thème ou le moment de l'apprentissage (Schwartz-Arad, Bar-Tal, et Eli 2007 ; Zoladz et al. 2011). Par exemple, un avertissement donné en début de cours par l'enseignant sur la difficulté des notions qu'il va exposer est un facteur de stress qui s'inscrit dans le contexte de l'apprentissage. En revanche, lorsque l'étudiant a été confronté à un facteur de stress avant d'assister au cours (exemple : embouteillage qui l'a mis en retard et exposé à une réprimande), le stress est externe au contexte de l'apprentissage (Begin-Caouette 2009).

L'apprentissage est aussi influencé par le contexte émotionnel, ou charge émotionnelle, de l'information transmise. C'est une notion à prendre en compte dans la mesure où un facteur de stress implique l'activation de l'amygdale. Celle-ci est le centre des émotions et va établir une association entre l'émotion et l'information reçue, créant ainsi une information saillante. Si l'information transmise génère une émotion, alors l'information est considérée comme saillante et est mieux mémorisée (Jelici et al. 2004).

Par exemple, pour la plupart des individus, une suite de mots en rapport avec des paysages de vacances est considérée comme positive, tandis qu'une suite de mots en rapport avec la mort est considérée comme négative (Jelici *et al.* 2004), mais c'est cette dernière qui permet la meilleure engrammation.

Ainsi, dans l'étude menée par Jelici *et al.*, un groupe témoin et un groupe « stress » sont soumis à une suite de mots, en dehors de tout contexte. La plupart des individus stressés ont un meilleur rappel des mots émotionnels (Tableau 6). Ils sont capables de se rappeler de 60 % des mots à connotation positive contre 52% pour le groupe témoin. De même pour les mots à connotation négative, le groupe stressé s'en remémore 68% contre 62% pour le groupe témoin. *A contrario*, le groupe témoin se remémore 48 % des mots neutres contre seulement 38% pour le groupe stressé (Jelici *et al.* 2004).

Tableau 6 - Pourcentage de mots neutres, à connotation positive ou négative, dont les groupes soumis à un stress ou non sont parvenus à se rappeler (Jelici et al. 2004)

Liste de mots	Groupe stress	Groupe témoin
Neutres	38%	48%
A connotation positive	60%	52%
A connotation négative	68%	62%

Une autre étude (Zoladz *et al.* 2011) démontre que les mots à connotation positive sont plus facilement restitués que les mots à connotation négative. Cette observation est accentuée lors d'un exercice de reconnaissance de mot.

Au-delà de la nature du mot interprété comme neutre, positif ou négatif, le récit qui permet d'introduire une notion à retenir joue aussi un rôle important. Une étude a été menée en Arizona sur des étudiants universitaires, dans laquelle ceux-ci ont été divisés en deux groupes : un groupe témoin et un groupe « émotionnel », *i.e.* à qui on présente la même information avec un biais émotionnel (Payne *et al.* 2007). Les deux groupes ont été soumis au même stress avant le début de l'expérience. Ils ont ensuite été confrontés au même diaporama, composé de onze diapositives, mais qui était présenté de manière neutre pour le premier groupe et avec une forte charge émotionnelle pour le second groupe. Au sein de ce diaporama, quelques diapositives étaient tout de même présentées de manière neutre au groupe subissant la présentation émotionnelle. Les étudiants ont été convoqués une semaine après pour une restitution surprise du diaporama. Les résultats montrent que le groupe ayant été confronté au diaporama présenté avec une forte charge émotionnelle restitue correctement 58% des diapositives chargées émotionnellement contre seulement 44% pour le groupe témoin. Inversement, le groupe « émotionnel » ne restitue que 36% de diapositives neutres contre 42% pour le groupe témoin.

De plus, le nombre de diapositives neutres restituées de manière erronée dans le groupe émotionnel est plus important, il est noté une différence de 4,7 points de diapositives fausses en plus que pour le groupe témoin. Les restitutions incorrectes sont corrélées avec des concentrations plasmatiques de cortisol élevées au moment de l'apprentissage des diapositives (Payne *et al.* 2007).

Certains facteurs peuvent interférer avec l'évaluation de la nature positive ou négative de l'information. C'est le cas de l'anxiété, qui tend à transformer des pensées habituellement perçues comme positives en pensées négatives. Elle favorise aussi la formation de croyances irrationnelles qui affaiblissent la motivation, conduisant à une démotivation du sujet (de la Fuente 2014). Ces erreurs d'analyse ont un effet néfaste sur la récupération d'informations de la mémoire déclarative et limitent les effets bénéfiques du stress dans un contexte émotionnellement positif (de la Fuente 2014).

3.1.3 Influence de la nature du facteur de stress lors d'un stress aigu.

La nature physique ou psychologique du facteur de stress influence la mémorisation. En effet, les facteurs de stress physiques activent des régions inférieures du cerveau (circuit de réponse à la douleur, par exemple), tandis que les facteurs de stress psychologiques activent des régions limbiques telles que l'amygdale basolatérale, en lien avec l'action locale de la noradrénaline. Or, l'activation d'un circuit intégrant l'amygdale et la présence d'hormones de stress conduit à la mémorisation des informations non neutres, plus marquantes, qui sont dites saillantes (Joëls *et al.* 2006).

De plus, un stress d'origine intrinsèque, *i.e.* psychologique, dans un contexte adapté permet d'augmenter l'attention portée au sujet et à diminuer la distraction de l'apprenant. Il favorise la mémorisation d'informations pertinentes. Les données jugées moins utiles ne sont pas consolidées (Payne *et al.* 2007)

3.1.4 Influence de la nature chronique du stress

Les effets du stress aigu et contextualisé sont différents de ceux d'un stress répété et chronique. Un stress aigu, lié à un facteur de stress ponctuel, permet une amélioration de la mémorisation et une consolidation de l'information. A l'inverse, un stress chronique, en relation avec l'exposition du cerveau au stress répété et lié à des facteurs de stress incontrôlables, induit une suractivité de l'axe hypothalamo-hypophysio-surrénalien. Ce type de stress réduit la neurogenèse, la plasticité synaptique et la sensibilité aux neurotransmetteurs. Ces effets, qui s'apparentent à un déclin cognitif, constituent un facteur de risque de développement de certaines affections neurodégénérative (dont la maladie d'Alzheimer) par le biais de neuro-inflammation et d'un stress oxydatif (Joëls *et al.* 2004).

3.1.5 Analogies avec le renforcement négatif du conditionnement opérant

Les effets qui viennent d'être présentés sont connus, dans un autre registre, depuis les travaux de Burrhus Skinner sur le conditionnement de type II, encore appelé conditionnement opérant ou conditionnement skinnérien (Roulin *et al.* 2000). Cette modalité d'apprentissage résulte de l'association entre un stimulus présenté à l'apprenant, la réponse qu'il produit et le renforcement qui lui est alors proposé. Lorsque le renforcement est positif, ou gratifiant (la récompense, la louange ou plus prosaïquement la « carotte »), les voies dopaminergiques du plaisir sont activées et l'individu cherche à reproduire la réponse qui le gratifie ainsi. Lorsque le renforcement est négatif (punition, blâme ou « bâton »), il inhibe très rapidement la réponse produite de façon à éviter la punition. On retrouve ainsi l'effet positif du stress sur la fermeture d'un apprentissage dès l'instant qu'il est temporellement associé à la séquence (loi de contiguïté temporelle de Skinner et Thorndike)(Roulin *et al.* 2000).

L'analogie peut même être étendue au lien entre le contexte de l'apprentissage et le renforcement négatif. L'expérience de la psychologue Elisabeth Hurlock, en 1925 (Hurlock 1978), fait encore autorité aujourd'hui, même si son volet éthique serait très controversé.

Elle constitue quatre groupes de filles de 9 à 11 ans en cours de mathématiques. Le niveau scolaire et le nombre de filles dans chaque groupe sont comparables. La tâche consiste à effectuer le plus possible d'additions de six nombres de trois chiffres en 15 minutes, à raison de trois séances par jour pendant cinq jours. Le groupe « contrôle » travaille seul, isolé dans une classe et aucun commentaire n'est jamais émis sur ses résultats. Les trois groupes, « louange », « réprimande » et « ignoré » travaillent séparément, mais dans une même salle. Ils entendent donc les feedbacks émis par l'enseignant pour leur groupe et pour les autres groupes. Le groupe « louange » reçoit systématiquement des félicitations chaleureuses après récolte des travaux, indépendantes de son résultat réel. Le groupe « réprimande » recevait systématiquement un signal négatif, de déception et d'absence de progression. Le groupe ignoré ne recevait aucun commentaire, mais pouvait écouter ceux émis pour les deux autres.

Les résultats sont nets : le groupe complimenté, même si au départ la louange est sans rapport avec le résultat obtenu, se perfectionne avec rapidité et atteint une vingtaine de problèmes résolus au bout des cinq jours. Le groupe réprimandé, chez qui un stress contextualisé est également généré, progresse aussi, mais nettement moins que le groupe gratifié et surtout moins durablement (14 à 15 additions correctes après un pic à 16). Les deux autres groupes (contrôle et ignoré) plafonnent aux environs de douze additions correctes.

3.1.6 Applications en pédagogie

Il résulte de ces données que, pour l'enseignant, il est pertinent :

1. de chercher à induire un stress aigu chez les étudiants au début de l'apprentissage, pour améliorer l'attention et la mémorisation ;
2. ce stress aigu devant être induit au moyen de facteurs de stress psychologiques (et non physiques) ;
3. de présenter les informations à mémoriser sous une forme positive ou négative ;
4. d'organiser le déroulé pédagogique de façon à orienter la sélection des informations saillantes vers les informations jugées importantes ;
5. de ne jamais omettre de féliciter, en faisant alors appel aux circuits de gratification et non pas aux effets du stress.

Par ailleurs, de façon plus large, il serait intéressant de limiter ou de tenter de limiter le stress chronique chez les apprenants.

3.2 Influence du stress sur les modes d'apprentissage

Le stress aigu peut avoir des effets différents selon le mode d'apprentissage auquel est confronté l'étudiant. Certains apprentissages longs, ou dont la courbe d'apprentissage est longue, nécessitent une construction en plusieurs étapes, assorties de l'élaboration de stratégies, insérées dans un parcours d'apprentissage riche et surtout évolutif. Dans ce cadre en effet, les étapes et les stratégies peuvent être amenées à changer ou à évoluer au cours de l'activité ou de l'exercice pour permettre à l'étudiant de s'adapter à des approches systémiques complexes. Or, le stress favorise un mode d'apprentissage qui fait appel à des schémas simples et déjà connus de l'apprenant, ce qui limite la flexibilité mentale. Il induit une rigidité d'exécution, l'individu choisissant d'utiliser des méthodes ou des stratégies dont il est déjà familier (Schwabe *et al.* 2007). En cela, le stress s'oppose aux apprentissages qui nécessitent une adaptabilité importante.

Ainsi, lors de stress chronique, les formes de mémorisation simples et habituelles (*i.e.* dont les traces mnésiques sont déjà existantes) sont privilégiées, ce qui limite les capacités de mémorisation à moyen et à long terme (Vogel et Schwabe 2018).

Le stress aigu peut favoriser le simple apprentissage par la méthode des essais/erreurs (Guenzel *et al.* 2014), dans la mesure où il fait appel à une démarche probabiliste : si un essai ne fonctionne pas, l'apprenant doit recommencer en tentant autre chose et ainsi de suite jusqu'au succès. Des sujets exposés à un facteur de stress et présentant une cortisolémie augmentée montrent une diminution du nombre d'essais pour réussir (Guenzel *et al.* 2014).

En revanche, le stress aigu peut avoir une forte influence sur l'apprentissage par instruction. Il peut en effet améliorer l'encodage d'une instruction et la récupération de règles. Cependant, il dégrade la récupération d'informations à long terme, la mémorisation des étapes de l'exercice étant plus importante que la mémorisation du contenu en lui-même (Vogel et Schwabe 2018).

Le stress aigu peut avoir un effet bénéfique sur l'apprentissage en venant atténuer l'anxiété, si celui-ci est instruit dans de faibles conditions de charge perceptive c'est-à-dire si l'environnement est contrôlé. Car si le stress est trop important l'anxiété n'est pas atténuée (Airaksinen *et al.* 2005).

Pour rappel, l'anxiété peut altérer la mémoire hippocampique, c'est-à-dire la mémoire de travail.

3.3 Le stress en contexte scolaire

Le stress scolaire est une notion multidimensionnelle qui a une influence sur l'apprentissage. Il peut être défini comme la somme de tous les facteurs de stress rencontrés au cours de la scolarité. Cela comprend les cours, les évaluations, les rapports avec les enseignants et les camarades de classe (Esparbès-Pistre *et al.* 2016).

Chez le jeune adulte en formation supérieure, il revêt trois expressions distinctes :

- un niveau physiologique et moteur ;
- un niveau cognitif ;
- un niveau affectif et de motivation.

L'expression physiologique du stress apparaît dans des situations qui varient en fonction de la sensibilité de l'apprenant (Abdollahi *et al.* 2018). Elle recouvre des réactions telles qu'une transpiration importante, des palpitations cardiaques, des insomnies ou des tremblements. Ces réactions, qui dépendent du niveau d'anxiété de l'étudiant (Largo-Wight *et al.* 2005), influencent son apprentissage à court et à long terme. Cette forme de stress peut être contrôlée par l'étudiant en amont des échéances de son cursus, de façon à améliorer son apprentissage et la restitution des informations (de la Fuente 2014).

L'expression cognitive du stress en situation scolaire se traduit par des pensées interférentes automatiques et récurrentes, dont la fréquence augmente au cours de la scolarité selon les obstacles rencontrés. Il peut s'agir de pensées négatives, d'inquiétudes, d'anticipation de l'échec allant jusqu'à déclencher une incapacité à réaliser des tâches dans le cadre du cursus (de la Fuente 2014).

Le niveau affectif, en lien avec le degré de motivation de l'apprenant, conditionne la posture de l'étudiant face à son apprentissage. Ainsi, l'étudiant peut vivre le stress positivement. Sa

posture est celle d'un étudiant déterminé, motivé et engagé dans les tâches. Il dispose d'une grande quantité d'énergie disponible pour travailler. Inversement, l'étudiant peut aussi vivre le stress négativement. Il présente alors des signes d'épuisement, de fatigue physique et émotionnelle. Il en résulte une démotivation, qui peut se traduire par l'abandon de la tâche en cours, voire par un renoncement complet à l'apprentissage ou au cursus. Le basculement de mentalité du positif au négatif dépend très fortement des expériences passées d'échec ou de succès de l'étudiant (Putwain *et al.* 2013).

Certaines conditions favorisent l'apparition du stress dans un contexte scolaire. C'est le cas, par exemple, de :

- l'absence de concordance entre le travail fourni par l'étudiant et les résultats qu'il obtient ;
- l'impression que le système est injuste ou peu fiable : par exemple, lorsque les critères de notation des examens sont peu ou pas explicités ;
- un niveau d'exigence perçu comme trop élevé : par exemple, lorsque l'étudiant estime ne pas être en mesure d'acquérir ou de maîtriser les compétences requises dans le temps imparti (de la Fuente 2014)

Dans le cadre d'études supérieures peu encadrées, comme certains cursus universitaires, l'étudiant est livré à lui-même. La difficulté de la tâche demandée peut lui paraître trop difficile à réaliser seul.

Par ailleurs, les cursus aboutissant à des concours sont soumis à une pression de sélection parfois importante, qui engendre une compétition entre étudiants. Celle-ci occasionne un stress qui peut limiter les capacités d'apprentissage de certains étudiants (Largo-Wight *et al.* 2005).

3.4 Influence du stress sur l'apprentissage moteur

3.4.1 L'apprentissage de la motricité de l'école primaire à l'enseignement supérieur

Au cours de la vie scolaire depuis l'enfance, l'apprentissage de la motricité fine, celle qui concerne la mobilité des doigts et des mains dans la réalisation de petits mouvements précis, est abordé et appuyé au cours du cycle 1 (maternelle). Par la suite, *i.e.* lors des cycles 2 et 3 (primaire), les apprenants ne sont plus formés ou entraînés à la motricité fine, mais seulement au développement de leur motricité par le biais d'activité physique. Il en va de même pour le secondaire (collège et lycée) où la motricité est développée lors des cours d'EPS ou de travaux pratiques ciblés (*cf. site Eduscol du ministère de l'Éducation Nationale, référençant les programmes et des pistes pédagogiques, <https://eduscol.education.fr/>*).

Dans l'enseignement supérieur, non seulement les futurs étudiants expriment d'éventuelles carences liées à cette quasi-absence de préparation dans le secondaire, mais ils sont de plus sélectionnés sur des critères très majoritairement cognitifs, des connaissances théoriques le plus souvent rattachées à une discipline donnée. Les capacités motrices ne sont pas évaluées lors de l'entrée au sein de l'établissement de formation. Or, il semblerait qu'il n'y ait pas de corrélation entre niveau d'intelligence et capacité motrice (Seashore 1930). Le meilleur moyen d'évaluer les capacités motrices est d'utiliser des tests dédiés et validés statistiquement, tels que le Purdue Pegboard Test par exemple, qui évaluent la dextérité et peuvent être utilisés lors d'entretien d'embauche de certains ouvriers. Pour autant, au cours de leur formation, et tout particulièrement en formation professionnelle vétérinaire, les étudiants doivent acquérir

certaines capacités en lien avec le domaine psychomoteur. Mal préparés et mal sélectionnés, ils s'exposent à différents niveaux de stress qui vont modifier sensiblement leur courbe d'apprentissage. Dans certains cas, l'apprentissage est tellement inhibé qu'ils s'orientent vers des formes de pratique professionnelle qui exclut tout geste moteur trop technique.

Dans la réalisation d'un apprentissage moteur, un niveau de difficulté trop élevé augmente en effet le stress, avec le risque de commettre des erreurs (Famose 2018). Une tâche motrice doit donc être ajustée au niveau d'habileté du sujet. Une tâche difficile répétée ne permet pas le progrès alors qu'une tâche dont la difficulté augmente graduellement permet une progression significative.

Par ailleurs, un niveau de difficulté trop important perturbe l'apprentissage moteur en faisant intervenir les émotions, et peut induire une baisse de motivation. Cela favorise alors la réalisation d'erreurs, qui conduisent à un découragement, à de la fatigue et à de la frustration.

A l'inverse, si la tâche à réaliser est trop facile, elle peut susciter de l'ennui, qui nuit à l'apprentissage car il ne sera pas mémorisé (Famose 2018).

Il est donc nécessaire d'adapter le niveau de difficulté au public d'apprenants, afin d'ajuster le niveau de stress induit et permettre une progression (Famose 2018). Ce niveau de difficulté est également à ajuster en fonction du contexte : stress et anxiété de l'apprenant ou encore modalité d'enseignement (Famose 2018).

Le niveau de difficulté optimal peut être objectif : selon Famose, il s'agit « *d'un niveau de difficulté laissant la possibilité aux étudiants de s'y engager et d'avoir un niveau de réussite convenable* » (Famose 2018).

3.4.2 L'apprentissage moteur en chirurgie

Chez les chirurgiens novices, le stress se traduit par une augmentation de la rapidité à effectuer les actions, ce qui, en l'absence de maîtrise des gestes, augmente le nombre d'erreurs. A l'inverse, le nombre d'erreurs diminue s'ils ralentissent leurs gestes (Pavlidis *et al.* 2012). Le stress augmente l'activité du système nerveux sympathique et fait diminuer les performances au cours de la formation chirurgicale. Il provoque des actions précipitées, c'est-à-dire rapides et irréfléchies, susceptibles de conduire à des erreurs. Or, les erreurs s'auto-entretiennent en provoquant un découragement et un sentiment d'incapacité (Pavlidis *et al.* 2019).

Une étude a été réalisée sur des étudiants en médecine sans expérience de la chirurgie (Flinn *et al.* 2016). Il leur a été demandé de réaliser des exercices d'entraînement à la laparoscopie. Les étudiants étaient répartis en quatre groupes distincts : un premier groupe dit témoin sans supervision, un deuxième groupe observé par un senior, expert en laparoscopie, un troisième groupe était encouragé par cet expert, enfin le quatrième groupe était critiqué par l'expert. Les stress des étudiants a été mesuré en suivant l'évolution de la pression artérielle et de la fréquence cardiaque. L'anxiété en situation a également été évalué à l'aide d'un auto-questionnaire (STAI state). Les performances des étudiants, lors des exercices, ont également été mesurées et comparées (Tableau 7).

Tableau 7 - Tableau récapitulatif des niveaux de stress, d'anxiété et des performances d'étudiants en médecine soumis ou non à un encadrement par un senior lors de la réalisation d'exercices d'entraînement à la laparoscopie (Flinn et al. 2016)

	Groupe témoin	Groupe observé	Groupe encouragé	Groupe critiqué
Niveau de stress	++	++	+	+++
Niveau d'anxiété	++	+	+	+++
Performances	++	+++	+++	+

Il en ressort que le groupe observé présente les mêmes niveaux de stress et d'anxiété que le groupe témoin, mais ses performances sont meilleures. Le groupe encouragé présente des niveaux de stress et d'anxiété plus bas que le groupe témoin et ses performances sont meilleures. Le groupe critiqué, quant à lui, est plus stressé et plus anxieux, ses performances sont bien inférieures à celles du groupe témoin (Flinn *et al.* 2016).

Ainsi, le comportement du senior influe sur le niveau de stress et sur les performances de l'apprenant.

3.5 Intérêt de la simulation

Au sein des écoles vétérinaires, le recours à des salles de simulation médicochirurgicale vétérinaire s'est développé de façon très rapide depuis une dizaine d'années. Ces simulations visent à favoriser l'apprentissage de gestes techniques de base, mais correspondent aussi à des mises en situation, qu'elles correspondent ou non à des situations critiques fortement stressantes en situation réelle. La simulation est un outil pédagogique qui permet de développer des compétences dans un contexte sécurisant, voire ludique, pour l'apprenant. L'échec n'ayant dans ce contexte pas de conséquences majeures sur le patient, il n'implique pas émotionnellement l'apprenant. La composante stress, dans ce contexte, est délibérément évacuée, qu'il s'agisse du stress lié à la peur de nuire à l'animal, la crainte du regard de l'autre et surtout celle de l'enseignant-formateur.

3.5.1 Intérêt de la simulation sur l'apprentissage

La simulation présente l'avantage de permettre l'apprentissage de compétences techniques pour réaliser des actes de soins (Couarraze *et al.* 2023) dans un environnement contrôlé. La simulation procédurale, (*i.e.* de l'apprentissage de gestes) est un outil pédagogique qui permet d'augmenter progressivement la complexité des exercices pour atteindre la maîtrise d'une compétence. Cette méthode permet de s'adapter au niveau de l'apprenant. Ainsi, l'utilisation de mannequins en médecine dentaire permet l'amélioration des performances des apprenants en clinique (Malone 2019).

Une étude américaine (Read *et al.* 2016) met en évidence que la simulation permet une augmentation des performances des étudiants vétérinaires lors de la réalisation d'ovario-hystérectomies (OVH). Elle permet l'acquisition de compétences complémentaires à celles apportées par la simple visualisation de vidéos ou la lecture de manuels. Ainsi, la réalisation d'exercices de simulation a permis d'augmenter les performances des étudiants vétérinaires lors des trois grandes étapes de la chirurgie (réalisation de l'incision, réalisation de l'ablation des organes, fermeture de l'incision). Les performances s'améliorent car l'efficacité lors de certaines étapes augmente (réaliser l'incision, localiser et manipuler le pédicule vasculaire, localiser et manipuler l'utérus, évaluer l'hémostase, réaliser une suture du plan musculaire, réaliser une suture du plan sous-cutané).

Il n'est pas noté de différences de performances en lien avec le réalisme du modèle utilisé. Il apparaît que ce n'est pas la fidélité du modèle qui permet l'acquisition de compétences, mais la réalisation du geste ainsi que la répétition des étapes (Read *et al.* 2016). L'utilisation d'un

mannequin, même avec un faible niveau de réalisme (des tubulures prenant la place de vaisseaux, élastiques prenant la place de ligaments), est jugée utile par les étudiants car elle permet beaucoup de manipulations (Langebaek *et al.* 2012).

Dans une étude menée en 2019, il est demandé à des étudiants en médecine de réaliser une fois par semaine pendant cinq semaines, deux ateliers de microchirurgie (un atelier de suture et un atelier de coupe). Ces ateliers font travailler la motricité fine. Chaque atelier a une durée maximale de 20 minutes. Les tâches peuvent être réalisées dans un ordre aléatoire, sans supervision ni contrôle et dans un environnement contrôlé pour limiter les facteurs de stress exogènes. Le stress des participants est évalué avant et pendant chaque session, ainsi que leur charge de travail. Au bout de cinq semaines, il est constaté une nette amélioration de la rapidité de réalisation de cet atelier. Les raisons évoquées sont de deux ordres :

- il s'agit d'étudiants en médecine qui ne sont pas engagés dans un cursus chirurgical, ce qui a permis un certain détachement émotionnel. Tous les facteurs de stress liés à l'action chirurgicale en elle-même ont été retirés (le patient, les intervenants, les imprévus). Ainsi dans un contexte que l'on peut qualifier de contexte de loisir, il est possible d'améliorer très rapidement ses compétences motrices (Pavlidis *et al.* 2019) ;
- inversement, des chirurgiens novices, dans un contexte de simulation, présentent un niveau de stress très élevé et, même en choisissant de se former par simulation dans un enseignement facultatif, leurs performances sont ralenties (Arora *et al.* 2010).

En plus de permettre l'apprentissage de compétences motrices, la simulation améliore l'attention et la motivation de l'apprenant (Malone 2019). Elle permet de croiser l'apprentissage de compétences pratiques avec d'autres compétences telles que la communication, la capacité à prendre des décisions ou le travail en équipe.

Avoir le retour d'un expert de manière directe joue un rôle dans l'apprentissage (Scalese et Issenberg 2005). En effet, il améliore l'apprentissage sur le court terme, *i.e.* lors de la réalisation de l'exercice de simulation, mais il permet aussi une meilleure rétention de l'information sur le long terme (de l'ordre d'un mois). Des étudiants de médecine, sans expérience de la suture, ont été divisés en trois groupes : un groupe n'a reçu aucune consigne particulière, un autre groupe a pu visualiser une vidéo et a reçu un retour par voie numérique, et le dernier groupe a reçu les consignes de la part d'un expert et le retour a été effectué par cet expert (Tableau 8).

Tableau 8 - Nombre moyen de mouvements effectués par des étudiants médecins lors de la réalisation de nœuds de chirurgiens dans le cadre d'un exercice de simulation (Porte 2007)

Nombre moyen de mouvements	Groupe visualisation de vidéos	Groupe visualisation de vidéos (retour informatique)	Groupe encadré par un expert (retour par l'expert)
Avant la simulation	26	30	32
Après la simulation	20	18	16
Un mois après	23	24	18

Commentaires du Tableau 8 : Un premier groupe a reproduit le contenu de vidéos, un second groupe a bénéficié en plus d'un retour informatique enfin un troisième groupe a bénéficié de l'encadrement et du retour d'un expert).

Dans cette expérience, ce n'est pas la qualité des sutures qui a été évaluée, mais le nombre de mouvements effectués par les étudiants pour réaliser des nœuds de chirurgien. Le nombre de mouvements a été mesuré à trois reprises : avant le début de l'expérience, à la fin du premier exercice de simulation et un mois plus tard. Le groupe bénéficiant du retour de

l'expert progresse plus et retient mieux son apprentissage puisque, un mois après les exercices de simulations, le nombre moyen de mouvements réalisés reste bas, de même que l'écart-type (Porte *et al.* 2007).

3.5.2 Intérêt de la simulation dans la gestion de l'anxiété et du stress

Au-delà de la seule absence de tout regard extérieur, la simulation permet aussi de limiter le stress et l'anxiété car elle donne le sentiment aux apprenants d'être préparés (Langebaek *et al.* 2012).

L'immersion d'un apprenant dans un exercice de simulation reproduit des émotions comparables à celles rencontrées dans la pratiques (Geeraerts *et al.* 2017). Cela permet également de s'entraîner dans des conditions d'exposition aux facteurs de stress et, de cette façon, d'augmenter les performances cliniques (Couarraze *et al.* 2023). En effet, la simulation permet de désensibiliser l'apprenant aux facteurs de stress lorsqu'il rencontre des situations critiques similaires (Couarraze *et al.* 2021).

Dans une étude menée par l'institut Toulousain de Simulation en Santé, plus de 6000 infirmières ont été soumises à des simulations de situations critiques (gestion de l'hyperthermie, hémorragie massive au cours d'une opération). Leur stress perçu ainsi que leur anxiété ont été mesurés avant l'expérience et une semaine après (Tableau 9). L'étude montre une diminution significative du stress perçu (évalué à l'aide du PSS) et de l'anxiété (évaluée à l'aide du STAI state et trait) (Couarraze *et al.* 2023). Ainsi, le pourcentage de bas niveau de stress perçu passe de 12% à 18% et un moyen niveau de stress perçu passe de 56% à 68% au bout d'une semaine. Le pourcentage de très bas niveau d'anxiété quotidienne augmente aussi passant de 32% à 46%, il en va de même pour le pourcentage d'anxiété de très bas niveau en situation de stress qui passe de 42% à 58% (Couarraze *et al.* 2023). En résumé il est observé une diminution des niveaux de stress perçus ainsi qu'une diminution de l'anxiété chez les infirmières ayant participé aux exercices de simulation.

*Tableau 9 - Tableau récapitulatif du stress perçu et de l'anxiété des infirmières, avant puis une semaine après la réalisation d'exercices de simulation en situations critiques(Couarraze *et al.* 2023)*

Paramètres évalués	Avant la simulation	Une semaine après la simulation
Stress perçu de bas niveau	12%	18%
Stress perçu de moyen niveau	56%	68%
Anxiété quotidienne de très bas niveau	32%	46%
Anxiété en situation de très bas niveau	42%	58%

Commentaires du Tableau 9 : Une diminution de l'anxiété et du stress perçu par les infirmières est relevée après les exercices de simulation. Elle se traduit par une augmentation du pourcentage d'infirmières exprimant un stress perçu de faible niveau, et par une augmentation du pourcentage d'infirmières exprimant un très bas niveau d'anxiété une semaine après la réalisation d'exercices de simulation en situations critiques.

Dans une autre étude française multicentrique (El Khamali *et al.* 2018), les auteurs s'intéressent à l'impact de la formation, non sur l'apprentissage en lui-même, mais sur la pratique professionnelle ultérieure, la satisfaction et la santé au travail, incluant le nombre d'arrêts de travail et le turn-over professionnel. Les résultats ont été tellement favorables sur l'ensemble des critères évalués que l'étude a été interrompue pour efficacité par le Comité de suivi de l'étude sans atteindre le nombre de sujets prévus dans le groupe contrôle. Ainsi, un apprentissage en salle de simulation, qui introduit de façon contrôlée le stress parmi l'ensemble des dimensions de l'apprentissage, la façon de le gérer et de la maîtriser, a des conséquences non seulement sur la compétence professionnelle des individus formés, mais sur leur santé ultérieure au travail.

Il est cependant important de noter que la simulation utilisée comme mode d'évaluation augmente l'anxiété (Stein 2020).

3.6 Recommandations pratiques pour l'enseignant

Le stress scolaire affecte les trois domaines de l'apprentissage que sont le domaine cognitif, le domaine socio-affectif et le domaine psychomoteur, et nombreux sont les facteurs de stress susceptibles de les mettre en jeu chez l'apprenant. Parmi eux, l'anxiété est le principal et le plus important facteur de stress intrinsèque, auquel s'ajoutent les facteurs de stress extrinsèques (enseignement, examen, condition d'apprentissage, *etc.*). L'expression du stress varie selon la sensibilité de l'apprenant, ce qui se traduit par de fortes variations interpersonnelles. Le stress influence directement les trois niveaux d'apprentissage.

Sur le plan cognitif, ou l'apprentissage de connaissances variées et surtout de leur utilisation dans des raisonnements efficaces, il est possible d'améliorer l'apprentissage grâce au stress aigu, si le délai entre la phase d'apprentissage et le déclenchement du stress n'excède pas quinze minutes. Le contexte d'apprentissage est tout aussi important car une information transmise avec une charge émotionnelle favorise sa mémorisation. Il convient toutefois de ne pas en abuser car une charge émotionnelle trop importante peut conduire à la mémorisation du contenu neutre de manière erronée. Ainsi, un stress aigu peut permettre d'améliorer l'apprentissage si les bonnes conditions sont réunies.

Cependant, un stress aigu trop important peut aussi rigidifier les modes de pensée : il limite l'apprentissage de nouveaux modes de pensée en favorisant l'utilisation de schémas simples et maîtrisés, limitant par la même occasion les capacités d'adaptation de l'étudiant. De la même façon, le stress aigu peut favoriser l'apprentissage de la consigne elle-même plutôt que le contenu de l'exercice.

Inversement, le stress chronique a globalement une influence négative car l'apprenant adopte des schémas de pensées rigides et rassurants, peu favorables à l'apprentissage d'autres méthodes ou connaissances. Le stress chronique a par ailleurs des conséquences néfastes sur la santé.

Le renforcement positif est important lors de l'apprentissage car il le favorise. Ainsi, pour améliorer ce dernier, il convient de féliciter l'apprenant de manière régulière pour activer les circuits de gratifications. Dans ces conditions, les circuits du stress sont hors de cause.

Sur le plan socio-affectif et de la motivation, le stress peut influencer le degré de motivation, ce qui va conditionner la posture de l'apprenant face à l'apprentissage. Cette posture dépend de son historique personnel.

Néanmoins, il est possible de canaliser le choix de la posture de l'apprenant en veillant par exemple à instaurer des critères de notation justes, fiables et vérifiables, en ayant un niveau d'exigence adapté et clairement défini, *etc.*

L'apprentissage moteur est favorisé par la réalisation d'exercices dont la difficulté augmente graduellement. La dextérité des apprenants, et particulièrement celle des étudiants vétérinaires, n'étant pas un critère de sélection, proposer des exercices de difficulté optimale peut s'avérer difficile : si la tâche motrice proposée est trop difficile ou au contraire trop facile, il peut en résulter une baisse de motivation, un désintéressement ou un découragement. Dans le cadre de l'apprentissage de la chirurgie, le comportement du senior peut jouer un grand rôle. Ainsi, une attitude encourageante et bienveillante de la part du senior permet de limiter le niveau de stress et d'anxiété de l'étudiant.

Au bilan, il est possible de résumer ainsi les applications pratiques que tout encadrant pourrait mettre en œuvre afin d'optimiser l'apprentissage de ses étudiants.

Sur le plan cognitif, il est recommandé :

1. de chercher à induire un stress aigu chez les étudiants au début de l'apprentissage, pour améliorer l'attention et la mémorisation ;
2. de chercher à induire un stress aigu au moyen de facteurs de stress psychologiques (et non physiques) ;
3. de présenter les informations à mémoriser sous une forme positive ou négative ;
4. d'organiser le déroulé pédagogique de façon à orienter la sélection des informations saillantes vers les informations jugées importantes ;
5. de ne jamais omettre de féliciter, en faisant alors appel aux circuits de gratification et non pas aux effets du stress.

Sur le plan socio-affectif, il est recommandé :

1. de prendre en compte que le contenu des cours et les évaluations ne sont pas les seuls critères rentrant en jeu ;
2. de considérer le rapport enseignant/apprenant comme important ;
3. de considérer les rapports entre apprenants comme important ;
4. de fixer des objectifs d'apprentissages permettant une concordance entre le travail fourni et les résultats obtenus par l'apprenant ;
5. d'avoir un niveau d'exigence adapté limitant le découragement ;
6. d'avoir un discours positif et encourageant favorisant la motivation ;
7. d'avoir un système de notation juste, facilement compréhensible et vérifiable.

Sur le plan moteur, il est recommandé :

1. d'augmenter graduellement la difficulté des exercices pour permettre une maîtrise progressive du geste ;
2. d'adapter le niveau de difficulté de départ en fonction de l'habileté de l'apprenant pour limiter l'ennui ou le découragement ;
3. d'avoir un discours encourageant et bienveillant.

Par ailleurs, dans le cadre du contrôle du stress des apprenants en médecine vétérinaire ou humaine, la simulation présente deux intérêts majeurs. Elle favorise d'une part l'apprentissage de gestes techniques de difficulté variée en plongeant l'apprenant dans un contexte contrôlé, *i.e.* sans facteurs de stress (présence de patient, d'enseignant, de

perturbations), et en annulant toutes conséquence liée à une erreur. La simulation permet aussi de répéter des gestes sans limitation, la répétition améliorant la motricité et la dextérité. Elle permet d'autre part de limiter le stress et l'anxiété, en préparant l'apprenant à des situations diverses, depuis la prise en charge du patient jusqu'à la gestion de situations critiques ou non, au cours de séances dans lesquelles la dimension des facteurs de stress peut être introduite de façon contrôlée par la scénarisation du faux patient, et non pas de façon difficilement contrôlable comme en situation d'urgence réelle.

CONCLUSION

En médecine humaine et vétérinaire, l'apprentissage est divisé en trois grands axes : le domaine cognitif, le domaine psychomoteur et le domaine affectif. Tout au long du cursus, l'élaboration d'un référentiel de programme adapté, en lien avec l'approche par compétences qui construit peu à peu les compétences au premier jour du futur diplômé, devient fortement centrée sur l'apprenant. Cela permet de favoriser un apprentissage clairement orienté vers l'exercice professionnel futur, en adéquation avec le marché de l'emploi. L'importance désormais accordée aux compétences dites transversales permet de faire acquérir aux apprenants le « savoir-agir », c'est-à-dire l'ensemble des compétences professionnelles dont ils auront besoin par la suite dans l'exercice de leur métier.

Le stress est une notion qui peut être abordée de deux manières différentes. Il est possible de le considérer de manière biologique et de constater les nombreux effets qu'il peut avoir sur l'organisme. Dans ces conditions, sa fonction physiologique primitive, celle de permettre à l'organisme de s'adapter à une agression réelle ou potentielle, permet de comprendre pourquoi il a globalement un rôle positif sur les situations d'apprentissage, ce qui permet encore d'optimiser l'adaptation si une agression de même nature se présente à nouveau. Mais dans de nombreux cas, et notamment en formation professionnelle, l'état de stress s'installe dans la durée, et peut déboucher sur l'inhibition de toute action, donc de tout nouvel apprentissage, et sur des états pathogènes. Il devient alors essentiel de comprendre quels sont les facteurs de stress qui l'installent et le prolongent (qu'ils soient intrinsèques ou extrinsèques), mais aussi quelles sont les conditions, notamment scolaires ou professionnelles, qui le favorisent. Dans la mesure où un stress chronique prolongé conduit au *burnout*, il est important de bien comprendre sur quels leviers préventifs ou curatifs il est possible d'agir.

Le stress aigu peut donc permettre de favoriser l'apprentissage s'il est induit dans des conditions favorables (délai et contexte par exemple), et peut améliorer l'apprentissage en permettant la mémorisation d'informations saillantes. Mais à partir du moment où le stress devient chronique ou bien même, si le stress aigu est trop violent, il limite considérablement l'apprentissage en provoquant une diminution de la flexibilité, voire une rétractation intellectuelle de l'apprenant.

Dans ce cas, la simulation médicale apporte un véritable bénéfice en permettant à l'apprenant de s'entraîner aussi bien à la réalisation de gestes techniques qu'à la mise en situation professionnelle dans un contexte allégé des contraintes de la vie réelle.

Il ressort de ce travail que le stress ne favorise l'apprentissage que dans des conditions extrêmement précises qui ne sont, la plupart du temps, pas ou peu applicables dans le contexte des études de médecine humaine et vétérinaire, durant lesquelles les apprenants sont le plus souvent stressés chroniquement. En revanche, il est possible d'améliorer l'apprentissage en diminuant le stress perçu et l'anxiété. L'enseignant joue en cela un grand rôle puisqu'il a la possibilité de s'adapter aux différentes situations et que le simple fait d'encourager et de faire preuve de bienveillance atténue très fortement le stress perçu.

C'est aussi dans ce contexte d'atténuation du stress et de l'anxiété que la simulation médicale présente un très grand intérêt.

Bibliographie

- Abdollahi A, Abu Talib M, Carlbring P, Harvey R, Yaacob SN, Ismail Z. Problem-solving skills and perceived stress among undergraduate students: The moderating role of hardiness. *J Health Psychol* 2018;23(10):1321-31.
- Adam EK, Quinn ME, Tavernier R, McQuillan MT, Dahlke KA, Gilbert KE. Diurnal cortisol slopes and mental and physical health outcomes: A systematic review and meta-analysis. *Psychoneuroendocrinology* 2017;83:25-41.
- Airaksinen E, Larsson M, Forsell Y. Neuropsychological functions in anxiety disorders in population-based samples: evidence of episodic memory dysfunction. *Journal of Psychiatric Research* 2005;39(2):207-14.
- Albouy G, Maquet P. Hippocampe, striatum et séquences. *Med Sci* 2008;24(11):921-2.
- Anderson LW, Bloom BS, Krathwohl DR. A taxonomy for learning, teaching, and assessing. New York: Longman; 2009.
- Arora S, Sevdalis N, Aggarwal R, Sirimanna P, Darzi A, Kneebone R. Stress impairs psychomotor performance in novice laparoscopic surgeons. *Surg Endosc* 2010;24(10):2588-93.
- Arslan S. Social Emotional Learning and Educational Stress: A Predictive Model. *Educ Res Rev* 2015;10(2):184-90.
- Bangasser DA, Shors TJ. Critical brain circuits at the intersection between stress and learning. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 2010;34(8):1223-33.
- Barreto A, Zhai J, Adjouadi M. Non-intrusive Physiological Monitoring for Automated Stress Detection in Human-Computer Interaction. In : Lew M, Sebe N, Huang TS, Bakker EM, éditeurs. *Human-Computer Interaction*. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2007:29-38.
- Begin-Caouette O. Effets positifs et négatifs du stress sur l'apprentissage. [en ligne]. <http://olivierbegincaouette.yolasite.com/resources/stress.pdf>. 2009. Consulté le 10/05/2022
- Belghith F, Ferry O. La vie étudiante : la santé des étudiants. *L'état de l'Enseignement supérieur et de la Recherche en France n°8*, 2015:38-9.
- Blackburn-Munro G, Blackburn-Munro RE. Chronic Pain, Chronic Stress and Depression: Coincidence or Consequence? HPA axis involvement in comorbidity of chronic pain and depression. *Journal of Neuroendocrinology* 2001;13(12):1009-23.
- Cannon WB. Bodily changes in pain, hunger, fear and rage : An account of recent researches into the function of emotional excitement. New York, NY, US: D Appleton & Company, 1915(xiii):311.
- Cannon WB. Organization for physiological homeostasis. *Physiological Review* 1929;9(3):400-33.
- Charlin B, Bordage G, Van Der Vleuten C. L'évaluation du raisonnement clinique. *Pédagogie Médicale* 2003;4(1):42-52.
- Charmandari E, Tsigos C, Chrousos G. Endocrinology of the stress response. *Annu Rev Physiol* 2005;67(1):259-84.
- Chaudhuri, Soma. The effects of music on stress. *IJAR* 2021;9(2):524-38.
- Cheng PW. Pragmatic Reasoning Schemas. *Cognitive psychology* 1985;17:391-416.

Cohen S, Kamarck T, Mermelstein R. A Global Measure of Perceived Stress. *Journal of Health and Social Behavior* 1983;24(4):385-96.

Couarraze S, Saint Jean M, Decormeille G, Houze Cerfon CH, Minville V, Fourcade O, Geeraerts T. Short term effects of simulation training on stress, anxiety and burnout in critical care health professionals: before and after study. *Clinical Simulation in Nursing* 2023;75:25-32.

Couarraze S, Saint-Jean M, Marhar F, Carneiro J-M, Siksik G, Weider A, Kurret MM, Rey T, Houze-Cerfon C, Leblanc V, Geeraerts T. Does prior exposure to clinical critical events influence stress reactions to simulation session in nursing students: A case-control study. *Nurse Education Today* 2021;99:1047-92.

De Lahunta A, Glass E. *Veterinary neuroanatomy and clinical neurology*. 3ed. St. Louis, Mo : Saunders Elsevier, 2009, 624.

Delignières D. A propos de la théorie des systèmes dynamiques : quelques idées neuves sur l'apprentissage moteur. *Revue EPS* 1998;271:61-6.

Delignières D. L'acquisition des habiletés motrices - Notes de cours. 2005 [En ligne] <https://didierdelignieresblog.files.wordpress.com/2018/06/cned-20071.pdf>. Consulté le 20 septembre 2022.

Demitrack MA, Crofford LJ. Evidence for and Pathophysiologic Implications of Hypothalamic-Pituitary-Adrenal Axis Dysregulation in Fibromyalgia and Chronic Fatigue Syndrome. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1998;840(1):684-97.

Descours-Renvier C. Un nombre inquiétant d'étudiants vétérinaires en souffrance. *La Dépêche Vétérinaire* 2022;1632.

Diorio D, Viau V, Meaney M. The role of the medial prefrontal cortex (cingulate gyrus) in the regulation of hypothalamic-pituitary-adrenal responses to stress. *J Neurosci* 1993;13(9):3839-47.

Dortier J-F. Mnésis, un modèle pour cinq mémoires. *In: Le cerveau et la pensée*. N°2. Auxerre : Éditions Sciences Humaines, 2014:231-2.

Ehlers MR, Todd RM. Acute psychophysiological stress impairs human associative learning. *Neurobiology of Learning and Memory* 2017;145:84-93.

Eisenhofer G, Peitzsch M, Kaden D, Langton K, Pamporaki C, Masjkur J, Tsatraronis G, Mangelis A, Williams TA, Reincke M, Lenders JWM, Bornstein R. Reference intervals for plasma concentrations of adrenal steroids measured by LC-MS/MS: Impact of gender, age, oral contraceptives, body mass index and blood pressure status. *Clinica Chimica Acta* 2017;470:115-24.

El Khamali R, Mouaci A, Valera S, Cano-Chervel M, Pinglis C, Sanz C, *et al.* Effects of a Multimodal Program Including Simulation on Job Strain Among Nurses Working in Intensive Care Units: A Randomized Clinical Trial. *JAMA* 2018;320(19):1988-97.

Esparbès-Pistre S, Bergonnier-Dupuy G, Cazenave-Tapie P. Le stress scolaire au collège et au lycée : différences entre filles et garçons. *ef* 2016;43(2):87-112.

Eustache F, Viard A, Desgranges B. The MNESIS model: Memory systems and processes, identity and future thinking. *Neuropsychologia* 2016;87:96-109.

Famose J-P. *Apprentissage moteur et difficulté de la tâche*. Paris : INSEP-Éditions, 2018:336p.

Ferrel-Chapus C, Tahej PK. Attentional processes and motor learning. *Movement Sport Sciences* 2010;71(3):71-83.

Fink G. Neuroendocrine Feedback Control Systems: An Introduction. *In: Fink G, Pfaff DW, Levine JE. Handbook of Neuroendocrinology, San Diego: Academic Press, 2012:55-72.*

Flinn JT, Miller A, Pyatka N, Brewer J, Schneider T, Cao CGL. The effect of stress on learning in surgical skill acquisition. *Medical Teacher* 2016;38(9):897-903.

de la Fuente J. Competency to study and learn in stressful contexts. *Education & Psychology* 2014;12(3):717-46.

Geeraerts T, Roulleau P, Cheisson G, Marhar F, Aidan K, Lallali K, *et al.* Physiological and self-assessed psychological stress induced by a high fidelity simulation course among third year anesthesia and critical care residents: An observational study. *Anaesthesia Critical Care & Pain Medicine* 2017;36(6):403-6.

George C. Le raisonnement conditionnel. Polymorphisme du raisonnement humain. *Psychologie et sciences de la pensée, Paris Cedex 14: Presses Universitaires de France, 1997:47-64.*

Gintrac A. Le stress au travail, un état des lieux : *Management & Avenir* 2011;41(1):89-106.

Gogny M. Les bases du raisonnement. Formation pédagogique des enseignants-chercheurs du Ministère chargé de l'Agriculture, Oniris, Nantes, module 1, mars 2023.

Golbidi S, Frisbee JC, Laher I. Chronic stress impacts the cardiovascular system: animal models and clinical outcomes. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology* 2015;308(12):H1476-98.

Grosset N, Barrouillet P, Misuraca R. Développement du raisonnement conditionnel et tâche de sélection de Wason. *psy* 2004;104(1):51-81.

Guenzel FM, Wolf OT, Schwabe L. Glucocorticoids boost stimulus-response memory formation in humans. *Psychoneuroendocrinology* 2014;45:21-30.

Hannibal KE, Bishop MD. Chronic Stress, Cortisol Dysfunction, and Pain: A Psychoneuroendocrine Rationale for Stress Management in Pain Rehabilitation. *Physical Therapy* 2014;94(12):1816-25.

Healey JA, Picard RW. Detecting Stress During Real-World Driving Tasks Using Physiological Sensors. *IEEE Trans Intell Transport Syst* 2005;6(2):156-66.

Hickey BA, Chalmers T, Newton P, Lin C-T, Sibbritt D, McLachlan CS, *et al.* Smart Devices and Wearable Technologies to Detect and Monitor Mental Health Conditions and Stress: A Systematic Review. *Sensors* 2021;21(10):3461.

Horlings R, Datcu D, Rothkrantz LJM. Emotion recognition using brain activity. *Proceedings of the 9th International Conference on Computer Systems and Technologies and Workshop for PhD Students in Computing. Gabrovo: ACM Press, 2008:II-1.*

Hurlock EB. *La psychologie du développement. McGraw-Hill Eds, 1978:379.*

Job E, Steptoe A. Cardiovascular Disease and Hair Cortisol: a Novel Biomarker of Chronic Stress. *Curr Cardiol Rep* 2019;21(10):116.

Jacobs SC, Friedman R, Parker JD, Tofler GH, Jimenez AH, Muller JE, *et al.* Use of skin conductance changes during mental stress testing as an index of autonomic arousal in cardiovascular research. *Am Heart J* 1994;28(6 Pt 1):1170-7.

Jelici M, Geraerts E, Merckelbach H, Guerrieri R. Acute stress enhances memory for emotional words, but impairs memory for neutral words. *International Journal of Neuroscience* 2004;114(10):1343-51.

Joëls M, Karst H, Alfarez D, Heine VM, Qin Y, Riel E van, *et al.* Effects of Chronic Stress on Structure and Cell Function in Rat Hippocampus and Hypothalamus. *Stress* 2004;7(4):221-31.

Joëls M, Pu Z, Wiegert O, Oitzl MS, Krugers HJ. Learning under stress: how does it work ? Trends in Cognitive Sciences 2006;10(4):152-8.

Kim AY, Jang EH, Choi KW, Jeon HJ, Byun S, Sim JY, *et al.* Skin conductance responses in Major Depressive Disorder (MDD) under mental arithmetic stress. Scilingo EP editor, PLoS ONE, 2019;14(4):e0213140.

Kivimäki M, Steptoe A. Effects of stress on the development and progression of cardiovascular disease. Nat Rev Cardiol 2018;15(4):215-29.

Laborit H. L'inhibition de l'action. Biologie comportementale et physio-pathologie. 2e éd. Paris : Masson, 1985:332p.

Lamy J-C. Bases neurophysiologiques de la proprioception. Kinésithérapie scientifique 2006;472:15-23.

Langebaek R, Berendt M, Pedersen LT, Jensen AL, Eika B. Features that contribute to the usefulness of low-fidelity models for surgical skills training. Vet Record 2012;170(14):361.

Langevin V, Boini S, François M, Riou A. Perceived stress scale (PSS). Références en santé au travail 2015;143:101-104.

Langevin V, François M, Boini S, Riou A. La mesure du stress psychologique (MSP). Document pour la médecine du travail, 2012;125.

Largo-Wight E, Peterson PM, Chen WW. Perceived Problem Solving, Stress, and Health Among College Students. am j health behav 2005;29(4):360-70.

Le Moal M. Historical approach and evolution of the stress concept: A personal account. Psychoneuroendocrinology 2007;32:S3-9.

Lebert-Charron A, Wendland J, Dorard G, Boujut É. Le syndrome de burnout ou d'épuisement maternel : une revue critique de la question. La psychiatrie de l'enfant 2018;61(2):421-41.

Lee DY, Kim E, Choi MH. Technical and clinical aspects of cortisol as a biochemical marker of chronic stress. BMB Reports 2015;48(4):209-16.

Mache S, Danzer G, Klapp B, Groneberg DA. An Evaluation of a Multicomponent Mental Competency and Stress Management Training for Entrants in Surgery Medicine. Journal of Surgical Education 2015;72(6):1102-8.

Mahdi SS, Al-Hajaj MR. Design and implementation of EEG measuring system. 2012 First National Conference for Engineering Sciences (FNCES 2012), Baghdad, IEEE, 2012:1-3.

Malone E. Challenges & Issues: Evidence-Based Clinical Skills Teaching and Learning - What Do We Really Know? JVME 2019;46(3):379-98.

Martin C, Riou B, Vallet B. Physiologie humaine appliquée. 2e éd., Montrouge : Éditions Arnette, 2017:916.

Maslov LN, Naryzhnaya NV, Boshchenko AA, Popov SV, Ivanov VV, Oeltgen PR. Is oxidative stress of adipocytes a cause or a consequence of the metabolic syndrome? Journal of Clinical & Translational Endocrinology 2019;15:1-5.

Mason JW. A re-evaluation of the concept of 'non-specificity' in stress theory. Journal of Psychiatric Research 1971;8(3-4):323-33.

Masters RSW, Lo CY, Maxwell JP, Patil NG. Implicit motor learning in surgery: Implications for multi-tasking. Surgery 2008;143(1):140-5.

Mikolajczak M. Les compétences émotionnelles. Univers psy, Malakoff : Dunod, 2020:28p.

Minem E. INRS, Exemples d'exposition aux risques. [En ligne]. <https://www.inrs.fr/risques/epuisement-burnout/ce-qu-il-faut-retenir.html>. Consulté le 12 mars 2023.

Moisan M-P, Le Moal M. Le stress dans tous ses états. *Med Sci* 2012;28(6-7):612-7.

Molière F. Anxiété. *In: Les concepts en sciences infirmières*. 2^e éd, Association de Recherche en Soins Infirmiers, 2012:70-2.

Neuville C, Yaïch S. Chapitre 3. Les trois phases du stress. *In: Pro en Gestion du stress*. Vuibert, 2019:14-5.

Olié J-P, Légeron P. Le Burnout. *Bull Acad Natle Méd* 2016;2:349-365.

Overmier JB, Seligman ME. Effects of inescapable shock upon subsequent escape and avoidance responding. *Journal of Comparative and Physiological Psychology* 1967;63(1):28-33.

Pavlidis I, Tsiamyrtzis P, Shastri D, Wesley A, Zhou Y, Lindner P, *et al.* Fast by Nature - How Stress Patterns Define Human Experience and Performance in Dexterous Tasks. *Sci Rep* 2012;2(1):305.

Pavlidis I, Zavlin D, Khatri AR, Wesley A, Panagopoulos G, Echo A. Absence of Stressful Conditions Accelerates Dexterous Skill Acquisition in Surgery. *Sci Rep* 2019;9(1):1747.

Payne JD, Jackson ED, Hoscheidt S, Ryan L, Jacobs WJ, Nadel L. Stress administered prior to encoding impairs neutral but enhances emotional long-term episodic memories. *Learn Mem* 2007;14(12):861-8.

Pierrot-Deseilligny E, Burke DJ. The circuitry of the human spinal cord: spinal and corticospinal mechanisms of movement. Cambridge, England; New York: Cambridge University Press, 2012:606.

Pilozzi A, Carro C, Huang X. Roles of β -Endorphin in Stress, Behavior, Neuroinflammation, and Brain Energy Metabolism. *IJMS* 2020;22(1):338.

Porte MC, Xeroulis G, Reznick RK, Dubrowski A. Verbal feedback from an expert is more effective than self-accessed feedback about motion efficiency in learning new surgical skills. *The American Journal of Surgery* 2007;193(1):105-10.

Price RB, Duman R. Neuroplasticity in cognitive and psychological mechanisms of depression: an integrative model. *Mol Psychiatry* 2020;25(3):530-43.

Prokofieva V, Brandt-Pomares P, Velay J-L, Hérold J-F, Kostromina S. Stress de l'évaluation scolaire : un nouveau regard sur un problème ancien. *rechercheseducations* 2017:18.

Putwain D, Sander P, Larkin D. Academic self-efficacy in study-related skills and behaviours: Relations with learning-related emotions and academic success. *Br J Educ Psychol* 2013;83(4):633-50.

Rahma O, Putra A, Rahmatillah A, Putri YKA, Fajriaty N, Ain K, *et al.* Electrodermal activity for measuring cognitive and emotional stress level. *J Med Signals Sens* 2022;12(2):155.

Raison CL, Miller AH. When not enough is too much: the role of insufficient glucocorticoid signaling in the pathophysiology of stress-related disorders. *Am J Psychiatry* 2003;160(9):1554-65.

Rauchs G, Feyers D, Landeau B, Bastin C, Luxen A, Maquet P, *et al.* Sleep Contributes to the Strengthening of Some Memories Over Others, Depending on Hippocampal Activity at Learning. *Journal of Neuroscience* 2011;31(7):2563-8.

Read EK, Vallevand A, Farrell RM. Evaluation of Veterinary Student Surgical Skills Preparation for Ovariohysterectomy Using Simulators: A Pilot Study. *JVME* 2016;43(2):190-213.

- Roskam I, Mikolajczak M. Le burn-out parental : Comprendre et prendre en charge. Carrefour des psychothérapies, De Boeck Supérieur, 2018:334p.
- Roulin JL, Bonnet C, Craddock P, Gaonac'h D. Psychologie cognitive. 2^e éd, Bréal, 2000:448p.
- Sapolsky RM, Krey LC, McEwen BS. The neuroendocrinology of stress and aging: the glucocorticoid cascade hypothesis. *Endocr Rev* 1986;7(3):284-301.
- Scales RJ, Issenberg SB. Effective Use of Simulations for the Teaching and Acquisition of Veterinary Professional and Clinical Skills. *JVME* 2005;32(4):461-7.
- Scanff CL. Les différentes formes de stress et leur influence sur la performance sportive. *Bulletin de psychologie* 2005;475(1):69-72.
- Schenarts PJ, Schenkel RE, Sullivan ME. The Biology and Psychology of Surgical Learning. *Surgical Clinics of North America* 2021;101(4):541-54.
- Schwabe L, Joëls M, Roozendaal B, Wolf OT, Oitzl MS. Stress effects on memory: An update and integration. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 2012;36(7):1740-9.
- Schwabe L, Oitzl MS, Philippson C, Richter S, Bohringer A, Wippich W, *et al.* Stress modulates the use of spatial versus stimulus-response learning strategies in humans. *Learn Mem* 2007;14(1-2):109-16.
- Schwartz-Arad D, Bar-Tal Y, Eli I. Effect of stress on information processing in the dental implant surgery setting. *Clinical Oral Implants Research* 2007;18(1):9-12.
- Seashore RH. Individual Differences in Motor Skills. *The Journal of General Psychology* 1930;3(1):38-66.
- Sehgal M, Song C, Ehlers VL, Moyer JR. Learning to learn - Intrinsic plasticity as a metaplasticity mechanism for memory formation. *Neurobiology of Learning and Memory* 2013;105:186-99.
- Selye H. A Syndrome produced by Diverse Nocuous Agents. *Nature* 1936;138(3479):32-32.
- Selye H. A syndrome produced by diverse nocuous agents. 1936. *J Neuropsychiatry Clin Neurosci* 1998;10(2):230-1.
- Sharma N, Gedeon T. Objective measures, sensors and computational techniques for stress recognition and classification: A survey. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 2012;108(3):1287-301.
- Silbernagl S, Despopoulos A. Atlas de poche Physiologie, 3e éd., Flammarion, 2002:436p.
- Smeds MR, Janko MR, Allen S, Amankwah K, Arnell T, Ansari P, *et al.* Burnout and its relationship with perceived stress, self-efficacy, depression, social support, and programmatic factors in general surgery residents. *The American Journal of Surgery* 2020;219(6):907-12.
- Stein C. The effect of clinical simulation assessment on stress and anxiety measures in emergency care students. *African Journal of Emergency Medicine* 2020;10(1):35-9.
- Stelly CE, Tritley SC, Rafati Y, Wanat MJ. Acute Stress Enhances Associative Learning via Dopamine Signaling in the Ventral Lateral Striatum. *J Neurosci* 2020;40(22):4391-400.
- Stratakis CA, Chrousos GP. Neuroendocrinology and Pathophysiology of the Stress System. *Ann NY Acad Sci* 1995;771(1):1-18.
- Szabo S, Yoshida M, Filakovszky J, Juhasz G. "Stress" is 80 Years Old: From Hans Selye Original Paper in 1936 to Recent Advances in GI Ulceration. *CPD* 2017;23(7):4029-41.

- Tardif J. Développer un programme par compétences : de l'intention à la mise en œuvre. *Pédagogie collégiale* 2003;16(3):36-44.
- Tardif J, Dubois B. De la nature des compétences transversales jusqu'à leur évaluation : une course à obstacles, souvent infranchissables. *Revue française de linguistique appliquée* 2013; (XVIII):29-45.
- Tayeb Z, Dragomir A, Lee JH, Abbasi NI, Dean E, Bandla A, *et al.* Distinct spatio-temporal and spectral brain patterns for different thermal stimuli perception. *Sci Rep* 2022;12(1):919.
- Tomassini V, Jbabdi S, Kincses ZT, Bosnell R, Douaud G, Pozzilli C, *et al.* Structural and functional bases for individual differences in motor learning. *Hum Brain Mapp* 2011;32(3):494-508.
- Tulving E. How Many Memory Systems Are There? *American Psychologist* 1985;40(4):385-98.
- Vincze A, Jurchis R, Iliescu D. The dynamics of Quiet Eye under stress in elite table tennis performance. *International Journal of Sport and Exercise Psychology* 2022:1-17.
- Vogel S, Schwabe L. Tell me what to do: Stress facilitates stimulus-response learning by instruction. *Neurobiology of Learning and Memory* 2018;151:43-52.
- Wass V, Van der Vleuten C, Shatzer J, Jones R. Assessment of clinical competence. *The Lancet* 2001;357:945-9.
- Wenhui Liao, Weihong Zhang, Zhiwei Zhu, Qiang Ji. A Real-Time Human Stress Monitoring System Using Dynamic Bayesian Network. 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05) - Workshops. San Diego, CA, USA: IEEE; 2005:70.
- Wijsman J, Grundlehner B, Penders J, Hermens H. Trapezius muscle EMG as predictor of mental stress. *ACM Trans Embed Comput Syst* 2013;12(4):1-20.
- Woodman T, Hardy L. A Case Study of Organizational Stress in Elite Sport. *Journal of Applied Sport Psychology* 2001;13(2):207-38.
- Zhang X, Li P, Chen J, Li H. Acute stress impairs reward positivity effect in probabilistic learning. *Psychophysiology* 2020;57(4):e13531.
- Zhang Y, Zhou W, Huang J, Hong B, Wang X. Neural correlates of perceived emotions in human insula and amygdala for auditory emotion recognition. *NeuroImage* 2022;260:119502.
- Zoladz PR, Clark B, Warnecke A, Smith L, Tabar J, Talbot JN. Pre-learning stress differentially affects long-term memory for emotional words, depending on temporal proximity to the learning experience. *Physiology & Behavior* 2011;103(5):467-76.

ANNEXES

Annexe 1 - Auto questionnaire PSS-4 (Perceived Stress Scale) permettant d'évaluer le stress perçu



Perceived Stress Scale 4 (PSS-4)

INSTRUCTIONS

The questions in this scale ask you about your feelings and thoughts during THE LAST MONTH. In each case, please indicate your response by placing an "X" over the square representing HOW OFTEN you felt or thought a certain way.

	Never 0	Almost Never 1	Sometimes 2	Fairly Often 3	Very Often 4
1. In the last month, how often have you felt that you were unable to control the important things in your life?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. In the last month, how often have you felt confident about your ability to handle your personal problems?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. In the last month, how often have you felt that things were going your way?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. In the last month, how often have you felt difficulties were piling up so high that you could not overcome them?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Scoring for the Perceived Stress Scale 4:

Questions 1 and 4

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

Questions 2 and 3

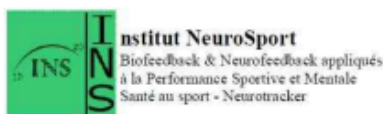
4 = Never
3 = Almost Never
2 = Sometimes
1 = Fairly Often
0 = Very Often

Lowest score: 0
Highest score: 16

Higher scores are correlated to more stress.

Cohen, S., Kamarck, T., & Mermelstein, R. (1983). A global measure of perceived stress. *Journal of Health and Social Behavior*, 24, 385-396.

*Annexe 2 - Auto Questionnaire STAI (State Trait Anxiety Inventory)
permettant la mesure de l'anxiété au quotidien (Trait) et dans une situation précise (State)*



Questionnaire STAI-Y1^{ETAT}
State Trait Anxiety Inventory-form Y
Autoquestionnaire de Spielberger

Imaginons la situation suivante : dans quelques instants, vous allez participer à une compétition ou passer un concours dont le résultat est particulièrement important pour vous et la suite de votre carrière.

Ci-après figurent un certain nombre de déclarations que les gens utilisent souvent pour se décrire. Lisez chacun des énoncés et cochez la case appropriée de droite qui semble décrire le mieux ce que vous ressentez dans cette situation. Il n'existe ni bonnes ni mauvaises réponses. Ne passez pas trop de temps sur chacun des points. Répondez à toutes les questions et ne cochez qu'une case pour chacune d'entre elles.

En ce moment, dans cette situation :	Pas du tout	Un peu	Modérément	Beaucoup
1. Je me sens calme.	1	2	3	4
2. Je me sens en sécurité.	1	2	3	4
3. Je suis tendu(e).	1	2	3	4
4. Je me sens surmené(e).	1	2	3	4
5. Je me sens tranquille.	1	2	3	4
6. Je me sens ému(e), bouleversé(e).	1	2	3	4
7. Je m'inquiète à l'idée de malheurs possibles.	1	2	3	4
8. Je me sens comblé(e).	1	2	3	4
9. Je me sens effrayé(e).	1	2	3	4
10. Je me sens bien, à l'aise.	1	2	3	4
11. Je me sens sûr(e) de moi.	1	2	3	4
12. Je me sens nerveux(e).	1	2	3	4
13. Je suis agité(e).	1	2	3	4
14. Je me sens indécis(e).	1	2	3	4
15. Je suis détendu(e).	1	2	3	4
16. Je me sens satisfait(e).	1	2	3	4
17. Je suis inquiet(e).	1	2	3	4
18. Je me sens troublé(e).	1	2	3	4
19. Je sens que j'ai les nerfs solides.	1	2	3	4
20. Je me sens dans de bonnes dispositions.	1	2	3	4



Ce questionnaire valide ne remplace jamais l'évaluation clinique d'un professionnel. Vous pouvez contacter vos résultats à votre médecin ou psychologue.

NOM/ID : **Sexe :** Homme Femme **Score :**

Né(e), le : **Date du test :**

Ci-après figurent un certain nombre de déclarations que les gens utilisent souvent pour se décrire. Lisez chacun des énoncés et cochez dans le case appropriée de droite ce qui convient le mieux à la façon dont **vous vous sentez en général**. Il n'existe ni bonnes ni mauvaises réponses. Ne passez pas trop de temps sur chacun des points, mais donnez la réponse qui semble décrire le mieux ce que vous ressentez généralement. Répondez à toutes les questions et ne cochez qu'une case pour chacune d'entre elles.

En général, dans mon quotidien :	Presque jamais	Parfois	Souvent	Presque toujours
21. Je me sens dans de bonnes dispositions.	1	2	3	4
22. Je me sens nerveux(se) et agité(e).	1	2	3	4
23. Je me sens content(e) de moi-même.	1	2	3	4
24. Je voudrais être aussi heureux(se) que les autres semblent l'être.	1	2	3	4
25. J'ai l'impression d'être un(e) raté(e).	1	2	3	4
26. Je me sens reposé(e).	1	2	3	4
27. Je suis d'un grand calme.	1	2	3	4
28. Je sens que les difficultés s'accumulent au point où je n'arrive pas à les surmonter.	1	2	3	4
29. Je m'en fais trop pour des choses qui n'en valent pas vraiment la peine.	1	2	3	4
30. Je suis heureux(se).	1	2	3	4
31. J'ai des pensées troublantes.	1	2	3	4
32. Je manque de confiance en moi.	1	2	3	4
33. Je me sens en sécurité.	1	2	3	4
34. Prendre des décisions m'est facile.	1	2	3	4
35. Je sens que je ne suis pas à la hauteur de la situation.	1	2	3	4
36. Je suis satisfait(e).	1	2	3	4
37. Des idées sans importance me passent par la tête et me tracassent.	1	2	3	4
38. Je prends les déceptions tellement à cœur que je n'arrive pas à les chasser de mon esprit.	1	2	3	4
39. Je suis une personne qui a les nerfs solides.	1	2	3	4
40. Je deviens tendu(e) ou bouleversé(e) quand je songe à mes préoccupations et à mes intérêts récents.	1	2	3	4

Ce questionnaire a été développé par le Dr Martin M. Spielberger, psychologue. Vous pouvez contacter votre médecin ou psychologue pour plus d'informations.

NOM/ID :

○ Homme ○ Femme

Né(e). le :

Date du test :

Date du test :

NOM/ID :

Homme

Femme

Né(e). le :

Qualité du sommeil au cours du mois dernier :

- Au cours du mois dernier, combien vous a-t-il habituellement fallu de temps pour vous endormir chaque soir ?.....
- Au cours du mois dernier, avec quelle fréquence vous n'avez pas pu vous endormir en moins de 30 mn ?.....
- Au cours du mois dernier, comment évalueriez-vous globalement la qualité de votre sommeil ?.....

Nombre de minutes :

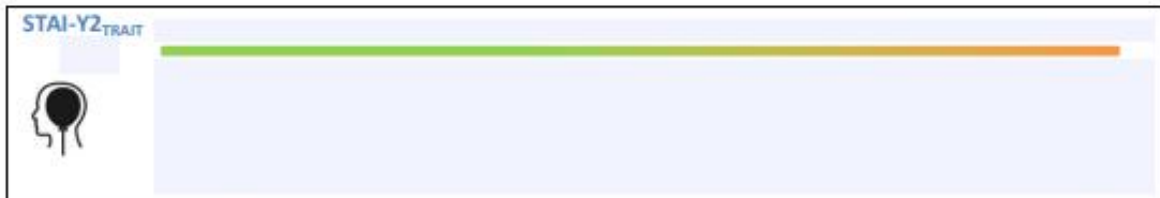
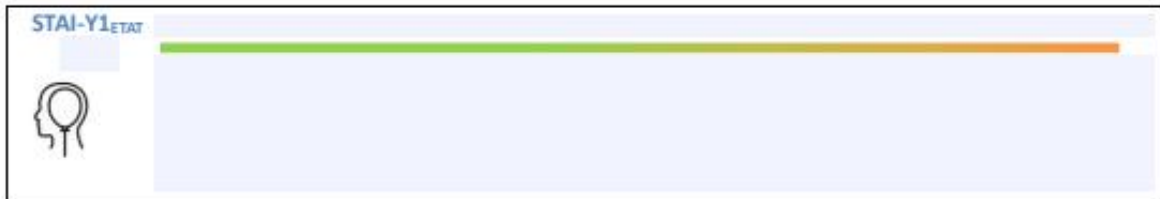
Endormissements < à 30 mn ?

Qualité du sommeil...

Habituellement, la fatigue modifie la nature et/ou l'intensité de mes ressentis : **Influence de la fatigue**

Résultats :

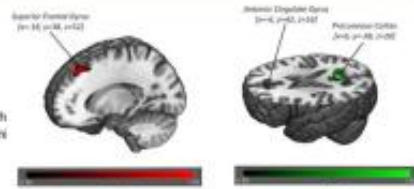
Vous pouvez enregistrer ce pdf sous un nouveau nom de fichier (format pdf) pour conserver vos réponses et/ou les transmettre à un tiers de confiance.



Ce double modèle de l'anxiété : temporaire (STAI-Yétat) et/ou stable (STAI-Ytrait) est sous tendu par des activités cérébrales distinctes. L'anxiété trait s'associe à une modification de la structure de la matière grise du cortex frontal médian (illustration en rouge). L'anxiété état est corrélée au seul changement de connectivité de régions plus postérieures - cuneus, precuneus (vert), lobe pariétal - (Saviola et al. 2020). Cela a des implications concrètes dans la prise en charge de l'anxiété par les techniques de neuromodulation non invasives. La méditation, le biofeedback HRV ou le Neurofeedback cibleront alors les cortex concernés.

Références :

- Questionnaire STAI-Y State & Trait : <https://institutneurosport.com/questionnaire-anxiete-spielberger.html>
- Notice des options de ce questionnaire : <https://institutneurosport.com/notice-stai-pdf.html>
- Bruchon-Schweitzer M, Paulhan I. 1993 Manuel du STAI, forme Y, adaptation française. Paris: ECPA; 1993.
- Echelle Dépression et Anxiété (HAD) : <https://institutneurosport.com/echelle-anxiete-depression-had.html>
- Questionnaire TPAI-2 (3Dimensions) : <https://institutneurosport.com/questionnaire-anxiete-performance-tpai2.html>
- Usages & limites : <https://institutneurosport.com/questionnaires-sport-sante-remplissables-pdf.html#usages-lim>
- <https://www.irbms.com/test-questionnaire-anxiete-generale-spielberger/>
- STAI Scoring tool (vérification croisée des cotations) : <https://www.nrsusa.org/score.php>
- https://oml.auburn.edu/vps/modules/job/OML/docs/16_150/State-Trait-Anxiety-Inventory.pdf
- Spielberger C. D., et al. (1983). Manual for the State-Trait Anxiety Inventory. Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press.
- Saviola et al. 2020 Trait and state anxiety are mapped differently in the human brain. *Sci Rep* 10, 11112 (2020). [10.1038/s41598-020-68008-z](https://doi.org/10.1038/s41598-020-68008-z)
- Licences, z-scores, supports papiers : <https://www.mindgarden.com/145-state-trait-anxiety-inventory-for-adults> ou <https://www.pearsonclinical.fr/stai-y>
- Langevin Y et al. 2012. Risques psychosociaux: outils d'évaluation Inventaire d'anxiété Etat/Trait forme Y (State-Trait anxiety inventory STAI-Y). *Références en santé au travail* N°131; 2012.
- Gauthier J, Bouchard S. Adaptation canadienne-française de la forme révisée du State-Trait anxiety inventory de Spielberger. *Revue canadienne des sciences du comportement*.



Notice, Options



Mathilde CESAR

**INFLUENCE DU STRESS SUR L'APPRENTISSAGE DES ÉTUDIANTS
EN MÉDECINE HUMAINE ET VÉTÉRINAIRE**

**INFLUENCE OF STRESS ON THE LEARNING OF STUDENTS
IN HUMAN AND VETERINARY MEDICINE**

Thèse d'état de Doctorat Vétérinaire : Nantes, le 10 juillet 2023

RESUME :

En médecine humaine et vétérinaire, comme dans toute formation professionnelle, l'apprentissage est divisé en trois grands axes : le domaine cognitif, le domaine psychomoteur et le domaine affectif. Le stress aigu peut permettre de favoriser l'apprentissage s'il est induit dans des conditions favorables, et peut améliorer l'apprentissage en permettant la mémorisation d'informations saillantes. Mais, s'il est trop violent ou lorsqu'il devient chronique, le stress limite l'apprentissage en provoquant une diminution de la flexibilité, voire une rétractation intellectuelle de l'apprenant.

La fonction physiologique primitive du stress, celle de permettre à l'organisme de s'adapter à une agression réelle ou potentielle, permet de comprendre son rôle positif sur les situations d'apprentissage. Mais, lorsque l'état de stress s'installe dans la durée, il peut déboucher sur l'inhibition de toute action, donc de tout nouvel apprentissage, et sur des états pathogènes. Dans la mesure où un stress chronique prolongé conduit au *burnout*, il est important de bien identifier les leviers préventifs ou curatifs sur lesquels il est possible d'agir.

Il est possible d'améliorer l'apprentissage en diminuant le stress perçu et l'anxiété. L'enseignant joue en cela un grand rôle puisqu'il a la possibilité de s'adapter aux différentes situations et que le simple fait d'encourager et de faire preuve de bienveillance atténue le stress perçu. De même, en formation médicale et vétérinaire, la simulation médicale offre un véritable bénéfice en permettant à l'apprenant de s'entraîner aussi bien à la réalisation de gestes techniques qu'à la mise en situation professionnelle dans un contexte allégé des contraintes de la vie réelle. La simulation médicale représente donc l'un des outils utilisables pour atténuer le stress et l'anxiété de l'apprenant.

MOTS CLES:

- ÉTUDIANT VÉTÉRINAIRE
- MÉDECINE HUMAINE
- MÉDECINE VÉTÉRINAIRE
- FORMATION
- PÉDAGOGIE
- APPRENTISSAGE
- STRESS
- FORMATION PAR LA SIMULATION
- FORMATION PROFESSIONNELLE

DATE DE SOUTENANCE : le 10 juillet 2023