



AI-ADAPT
DOSSIER DE CONCEPTION

Re :Gain

Soumis par :

Erisa KOHANSAL
Sama SATARIYAN
Shirel AMOZIEG

Sous la direction de :

Amel YESSAD

Table des matières

1	Introduction	1
1.1	Présentation du projet Re :Gain	1
1.2	Acquisition du signal EMG	1
2	Traitement du signal et modélisation des paramètres utilisateur	2
2.1	Description du pipeline de traitement EMG	2
2.2	Paramètres utilisateur modélisés	2
3	Adaptation	3
3.1	Boucle courte (adaptation intra-phase)	4
3.1.1	Activation musculaire instantanée	5
3.1.2	Précision du contrôle	5
3.2	Boucle longue (adaptation inter-phases)	5
3.2.1	Fatigue musculaire	5
3.2.2	Performance du jeu	6
3.2.3	Taux d'erreur	6
3.2.4	Régularité motrice	6
3.3	Exemples de seuils et règles décisionnelles	7
3.4	Gestion des conflits et priorités d'adaptation	8
3.5	Niveaux implicites et progression par phases	8
4	Évaluation du système	9
4.1	Critères d'évaluation	9
4.2	Métriques envisagées	9
4.3	Évaluation pilote envisagée	9
5	Conclusion	10

1 Introduction

Ce document présente le dossier de conception du projet *Re :Gain*, réalisé dans le cadre de l'UE AI-ADAPT. Le projet vise à concevoir un jeu vidéo adaptatif contrôlé par signaux électromyographiques (EMG), dans un objectif de rééducation et de réentraînement moteur.

L'originalité du projet repose sur l'utilisation de signaux physiologiques pour modéliser l'état de l'utilisateur (fatigue, force et précision de contrôle) et adapter dynamiquement les mécaniques de jeu en conséquence.

Ce dossier décrit la modélisation retenue, les paramètres extraits des signaux bruts, les mécanismes d'adaptation, ainsi que la stratégie envisagée pour l'évaluation du système.

1.1 Présentation du projet Re :Gain

Re :Gain est un jeu vidéo sérieux dans lequel l'utilisateur interagit avec le système à l'aide de contractions musculaires captées par un capteur EMG. Le jeu est conçu comme un environnement interactif adaptatif, capable d'ajuster sa difficulté et son feedback en fonction de l'état physiologique et des performances de l'utilisateur.

Le scénario de jeu repose sur des actions simples (par exemple maintenir un effort, atteindre une cible ou contrôler un déplacement), traduites à partir de l'activité musculaire. Ces actions sont volontairement limitées afin de se concentrer sur la qualité du contrôle moteur plutôt que sur la complexité des commandes.

Le système vise à encourager un effort contrôlé et progressif, en évitant à la fois la sous-sollicitation et la fatigue excessive de l'utilisateur.

1.2 Acquisition du signal EMG

Les signaux EMG sont acquis à l'aide d'un capteur BITalino, avec une fréquence d'échantillonnage de 1000 Hz. Le signal mesuré correspond à l'activité électrique produite par les muscles lors de la contraction.

Le signal EMG brut est un signal continu, bruité et oscillant rapidement autour de zéro. Il ne peut pas être exploité directement pour le contrôle du jeu sans traitement préalable.

Dans un premier temps, le logiciel OpenSignals, outil officiel associé au dispositif BITalino, est utilisé afin de vérifier le bon fonctionnement du capteur, la qualité du signal et la connexion avec l'ordinateur. Cette étape permet une visualisation en temps réel du signal brut et facilite le positionnement des électrodes ainsi que la validation de l'acquisition.

La Figure 1 illustre des exemples de signaux EMG bruts observés lors de phases de repos, de contraction modérée et de contraction forte.

Une fois l'acquisition validée, le signal EMG est récupéré directement en temps réel via un script Python utilisant l'API BITalino. Cette approche permet une intégration directe du signal dans le pipeline de traitement et de modélisation, et constitue la base du système interactif du jeu.

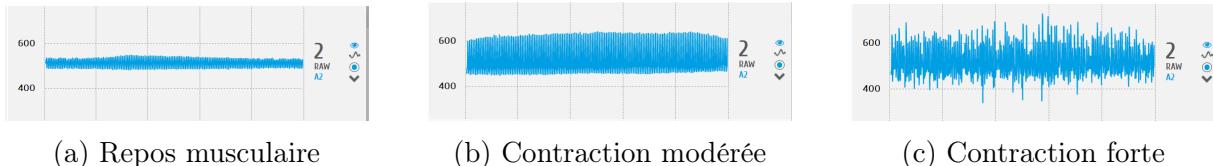


FIGURE 1 – Exemples de signaux EMG bruts observés avec OpenSignals selon différents niveaux d’effort.

2 Traitement du signal et modélisation des paramètres utilisateur

2.1 Description du pipeline de traitement EMG

Afin de transformer le signal EMG brut en paramètres exploitables par le système, un traitement en ligne par fenêtres glissantes est appliqué. Le signal est segmenté en fenêtres temporelles de courte durée, traitées indépendamment afin de permettre une interaction quasi temps réel.

Le signal EMG brut étant fortement bruité et oscillant autour de zéro, plusieurs étapes de prétraitement sont nécessaires. Pour chaque fenêtre, les opérations suivantes sont réalisées :

1. suppression de l’offset DC par recentrage du signal,
2. rectification du signal (valeur absolue),
3. extraction de l’enveloppe d’activation par moyenne des valeurs rectifiées,
4. lissage temporel par moyenne exponentielle afin de stabiliser la mesure.

La valeur obtenue à l’issue de ce traitement correspond à une estimation continue de l’activation musculaire instantanée.

Une phase de calibrage est ensuite réalisée pour chaque utilisateur. Elle comprend une phase de repos, permettant d’estimer une baseline individuelle, ainsi qu’une ou plusieurs phases de contraction volontaire utilisées pour estimer l’activation maximale. Ces valeurs servent à normaliser l’activation musculaire et à rendre le système robuste aux différences interindividuelles.

2.2 Paramètres utilisateur modélisés

À partir du signal EMG traité et normalisé, le système modélise explicitement les paramètres utilisateur suivants :

- * **Activation musculaire instantanée** : intensité normalisée de la contraction musculaire calculée sur une fenêtre temporelle courte.
- * **Force musculaire estimée** : capacité maximale de contraction, estimée lors de la phase de calibrage initial.
- * **Fatigue musculaire** : diminution progressive de la capacité à maintenir une activation musculaire élevée au cours du temps.
- * **Précision du contrôle** : stabilité de l’activation musculaire autour d’une zone cible définie, reflétant la qualité du contrôle moteur.

En complément des paramètres physiologiques issus des capteurs EMG, le système modélise également des paramètres comportementaux dérivés des interactions de l'utilisateur avec le jeu :

- * **Performance du jeu** : score normalisé par unité de temps, reflétant la capacité de l'utilisateur à progresser dans le jeu.
- * **Taux d'erreur** : fréquence des collisions avec les obstacles, utilisée comme indicateur de la difficulté rencontrée.
- * **Régularité motrice** : variabilité du timing des actions de saut, reflétant la stabilité du contrôle moteur dans le contexte du jeu.

Ces paramètres constituent le modèle utilisateur utilisé par le système d'adaptation du jeu.

3 Adaptation

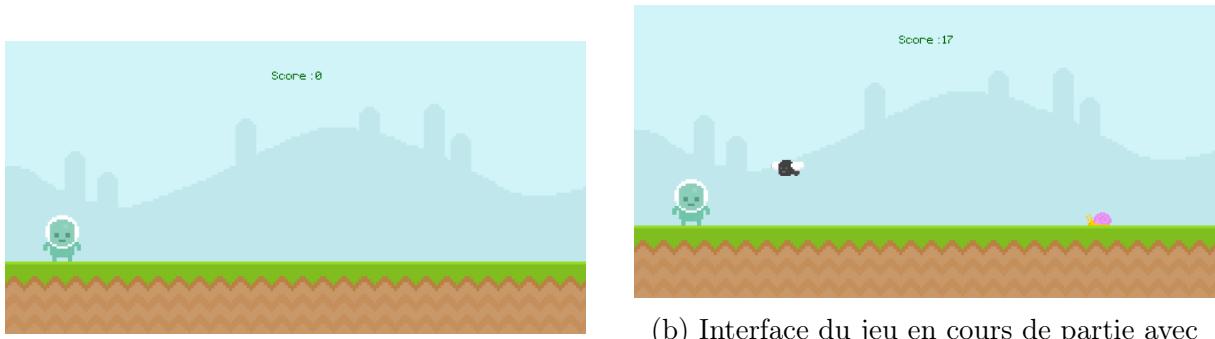
Bien que Re :Gain ne propose pas de niveaux explicites, le jeu peut être interprété comme une succession de phases correspondant à différents états d'adaptation du système. Ces phases jouent un rôle équivalent à des niveaux implicites dans un jeu traditionnel, sans être explicitement visibles pour l'utilisateur.

Dans ce cadre, Re :Gain propose deux modes de jeu à l'utilisateur :

1. **Contrôle discret** : Dans ce mode, le signal EMG est utilisé uniquement pour déclencher les actions de saut et de marche. La hauteur du saut ainsi que la vitesse de la marche sont fixes et ne dépendent ni de l'activation musculaire instantanée ni de la précision du contrôle moteur. Ce mode présente une forte robustesse au bruit du signal EMG, limite la frustration de l'utilisateur et permet une calibration fiable de la force maximale et des seuils de détection. Il constitue ainsi un point d'entrée adapté pour un utilisateur débutant.
2. **Contrôle continu** : Ce mode vise à encourager l'utilisateur à produire des contractions musculaires stables et à renforcer la précision du contrôle. Dans ce cas, le signal EMG ne modifie pas fondamentalement les actions du jeu mais introduit des ajustements discrets basés sur la stabilité de l'activation musculaire. Lors du saut, si l'activation EMG est maintenue de manière stable pendant une courte durée un léger bonus de hauteur est accordé. Dans le cas contraire le saut conserve les caractéristiques du mode discret. De manière similaire, la vitesse de la marche est ajustée par paliers (lent, normal, rapide) et un changement de palier n'étant autorisé que si l'activation EMG reste stable sur une fenêtre temporelle définie.

L'interface de jeu et la boucle d'interaction ont été implémentées à l'aide de la bibliothèque *Pygame*, permettant une intégration directe des mécanismes d'adaptation et un contrôle précis des éléments de gameplay en temps réel.

La Figure 2 illustre l'environnement de jeu dans lequel s'appliquent les mécanismes d'adaptation décrits dans cette section, notamment le contrôle du personnage, l'apparition des obstacles et la progression du score.



(a) Interface du jeu au démarrage

(b) Interface du jeu en cours de partie avec obstacles

FIGURE 2 – Illustration de l’interface de jeu et des éléments de gameplay de Re :Gain.

De plus, il est important de préciser que lorsque l'on parle d'ajustement de la difficulté du jeu il s'agit spécifiquement de l'ajustement de paramètres liés au gameplay et non des mécanismes de contrôle moteur de l'utilisateur. Les principaux paramètres de difficulté considérés dans Re :Gain sont les suivants :

- * **Fréquence d'apparition des obstacles** : une fréquence plus élevée rend le jeu plus dense et augmente la charge d'anticipation tandis qu'une fréquence plus faible offre davantage de temps de réaction à l'utilisateur.
 - * **Vitesse de déplacement des obstacles** : une vitesse plus élevée réduit la fenêtre temporelle disponible pour réagir et augmente la difficulté globale du jeu alors qu'une vitesse plus faible rend l'interaction plus accessible.
 - * **Tolérance des collisions** : ce paramètre correspond à la marge de réussite accordée lors des interactions avec les obstacles, par exemple à travers une tolérance accrue sur les collisions ou sur la précision requise pour réussir un saut. Une tolérance plus élevée rend le jeu plus permissif tandis qu'une tolérance plus faible exige une exécution plus précise des actions.
 - * **Implémentation par système de vies** ("hearts"). Dans Re :Gain, la tolérance aux collisions est concrètement implémentée via un système de trois vies représentées par des coeurs. Chaque collision avec un obstacle consomme un cœur, mais n'entraîne pas immédiatement la fin de la partie. La session se termine uniquement lorsque les trois coeurs sont perdus. Ce mécanisme permet de rendre le jeu plus permissif face aux erreurs ponctuelles (par exemple dues à une fluctuation transitoire du signal EMG) tout en conservant un signal clair de progression et de difficulté.

3.1 Boucle courte (adaptation intra-phase)

La boucle d'adaptation à court terme repose sur des paramètres du modèle utilisateur mis à jour à haute fréquence, tels que l'activation musculaire instantanée et la précision du contrôle. Ces paramètres reflètent l'état moteur immédiat de l'utilisateur et sont utilisés pour effectuer des ajustements discrets en temps réel. Cette adaptation intra-phase vise principalement à rendre l'interaction plus robuste face aux fluctuations instantanées du signal EMG et à éviter des échecs injustes liés à des variations transitoires du contrôle moteur. Les adaptations réalisées en temps réel sont limitées à des ajustements discrets afin que le joueur conserve une compréhension claire du défi et des règles du jeu. Prévention des échecs injustes.

Afin d'éviter qu'une erreur unique mette fin à la session (notamment lors de fluctuations instantanées du contrôle), le jeu intègre un système de vies (cœurs). Cette "marge d'erreur" constitue une adaptation intra-phase : elle augmente la robustesse de l'interaction sans modifier les règles fondamentales du jeu.

3.1.1 Activation musculaire instantanée

L'activation musculaire instantanée permet d'interpréter l'état physiologique immédiat de l'utilisateur. Elle correspond à l'intensité normalisée de la contraction musculaire mesurée sur une fenêtre temporelle courte. Ce paramètre renseigne sur le niveau d'effort fourni par l'utilisateur à un instant donné et permet notamment de détecter des situations de surcharge momentanée, de compensation liée à la fatigue ou de tension excessive.

Dans le cadre de Re :Gain, l'activation musculaire instantanée n'est pas utilisée pour modifier directement les actions du jeu, mais comme un indicateur contextuel permettant d'ajuster la tolérance du système face aux erreurs ponctuelles. Lorsque le niveau d'activation est élevé, le système adopte une interprétation plus permissive des actions de l'utilisateur, afin d'éviter de le pénaliser dans des situations d'effort accru.

3.1.2 Précision du contrôle

La précision du contrôle ne mesure ni l'effort fourni ni la performance de l'utilisateur, mais la qualité du contrôle de l'effort dans le temps. Elle caractérise la stabilité de la contraction musculaire sur une fenêtre temporelle donnée. Dans Re :Gain, ce paramètre est utilisé pour déterminer si un ajustement doit être appliqué lors de l'exécution des actions en mode de contrôle continu. Il permet notamment de décider de l'attribution d'un léger bonus de hauteur lors du saut ainsi que du changement de palier de la vitesse de marche comme décrit dans le cadre du mode 2.

3.2 Boucle longue (adaptation inter-phases)

La boucle d'adaptation à long terme constitue le mécanisme principal d'adaptation du jeu. Elle s'appuie sur des paramètres évoluant plus lentement, tels que la fatigue musculaire, la performance du jeu, le taux d'erreur et la régularité motrice agrégée sur la durée d'une partie. Ces paramètres sont utilisés pour ajuster de manière durable la difficulté globale du jeu entre deux parties consécutives, en modifiant les paramètres initiaux et les paliers de difficulté. Dans Re :Gain, cette adaptation inter-phases permet de personnaliser progressivement la progression du joueur au cours d'une session, en tenant compte de son évolution et des difficultés rencontrées lors des parties précédentes.

En pratique, augmenter la difficulté correspond à diminuer l'intervalle d'apparition des obstacles, à augmenter leur vitesse de déplacement et à réduire la tolérance aux collisions ; à l'inverse, diminuer la difficulté applique les ajustements opposés.

3.2.1 Fatigue musculaire

La fatigue musculaire est estimée de manière indirecte à partir de l'évolution sur la durée de paramètres à plus court terme tels que l'activation musculaire instantanée et la précision du contrôle. Une dégradation progressive de ces indicateurs ou une augmentation de l'effort requis pour maintenir des performances similaires est interprétée comme un

signe de fatigue musculaire. Ce paramètre ne repose donc pas sur une mesure instantanée mais sur l'analyse de tendances à plus long terme.

Lorsque le modèle utilisateur détecte un état de fatigue musculaire marqué, le système peut proposer à l'utilisateur une notification suggérant de faire une pause. L'utilisateur conserve la liberté de poursuivre ou d'interrompre la session de jeu.

Si l'utilisateur choisit de continuer, la difficulté globale du jeu est automatiquement ajustée pour la phase ou la partie suivante, par exemple en réduisant la fréquence et la vitesse d'apparition des obstacles. Cette approche permet de préserver l'engagement de l'utilisateur tout en limitant les risques de surcharge, en intégrant explicitement l'utilisateur dans le processus d'adaptation.

3.2.2 Performance du jeu

La performance du jeu correspond à la durée pendant laquelle l'utilisateur parvient à progresser sans échec. Il ne s'agit pas d'une mesure instantanée mais d'un indicateur agrégé qui est évalué à l'échelle d'une partie ou de plusieurs parties consécutives. Ce paramètre est utilisé pour ajuster la difficulté globale du jeu.

Le score reflète ainsi la capacité d'anticipation de l'utilisateur, sa maîtrise globale du gameplay et l'adéquation entre la difficulté proposée et ses capacités. Afin de tenir compte de la difficulté effectivement rencontrée, la performance est également analysée en fonction du nombre d'obstacles rencontrés et évités sans collision au cours de la partie. Cette normalisation permet de distinguer une progression réalisée dans un contexte peu exigeant d'une progression obtenue face à un nombre plus important d'obstacles.

La performance observée est comparée soit à une plage de performance cible lorsque aucun historique de jeu n'est encore disponible, soit à l'historique des performances du joueur. À l'issue de chaque partie la durée de survie est analysée. Si le score est faible, la difficulté globale du jeu est réduite pour la partie suivante. Si le score se situe dans la plage cible, les paramètres de difficulté sont conservés. À l'inverse, si le score est élevé alors la difficulté est augmentée de manière progressive.

3.2.3 Taux d'erreur

Le taux d'erreur correspond à la fréquence des échecs rencontrés par l'utilisateur au cours d'une partie ou de plusieurs parties consécutives. Concrètement, une erreur peut correspondre à une collision avec un obstacle, à des échecs répétés sur une courte fenêtre temporelle ou à une succession de parties de très courte durée.

Le taux d'erreur est utilisé dans la boucle d'adaptation à long terme car une erreur isolée peut être accidentelle et ne reflète pas nécessairement une inadéquation du niveau de difficulté. En revanche, la répétition d'erreurs successives constitue un indicateur plus fiable d'une difficulté mal adaptée, d'un état de fatigue musculaire ou d'une surcharge cognitive ou motrice. Ce paramètre permet ainsi d'ajuster la difficulté globale du jeu de manière progressive et robuste.

3.2.4 Régularité motrice

Ce paramètre est utilisé dans la boucle d'adaptation à long terme comme un indicateur complémentaire à la performance et au taux d'erreur. Lorsque la régularité motrice est faible sur une période prolongée, le système peut réduire temporairement la difficulté du

jeu, par exemple en augmentant la tolérance aux collisions ou en diminuant la vitesse et la fréquence d'apparition des obstacles. À l'inverse, une régularité motrice élevée et stable peut autoriser une augmentation progressive de la difficulté, en cohérence avec les autres indicateurs du modèle utilisateur.

Dans cette section nous avons fait le tour de tous les paramètres de l'utilisateur sauf la force musculaire estimée. La force musculaire estimée est utilisée comme paramètre de normalisation et de référence individuelle qui donc n'intervient pas directement dans les mécanismes d'adaptation. Ce paramètres est alors hors boucle mais il reste indispensable au modèle.

Les paramètres du modèle utilisateur influencent directement l'adaptation du jeu à travers un ensemble de règles heuristiques. Ces règles définissent comment les valeurs estimées (physiologiques et comportementales) modulent certains éléments de l'expérience du jeu afin d'ajuster la difficulté et de maintenir une interaction adaptée au niveau de l'utilisateur.

3.3 Exemples de seuils et règles décisionnelles

Afin de rendre explicite le fonctionnement des mécanismes d'adaptation décrits précédemment, cette section présente quelques exemples de seuils et de règles utilisés à titre illustratif. Ces valeurs sont issues d'essais préliminaires réalisés lors de sessions de calibration EMG en conditions réelles et ne constituent pas des paramètres définitifs.

Lors de la phase de calibrage, une valeur de référence correspondant à l'état de repos (baseline) est estimée, ainsi qu'un niveau d'activation maximale atteint lors d'une contraction volontaire forte. L'activation musculaire est ensuite normalisée selon la formule suivante :

$$\text{activation}_{\text{norm}} = \frac{\text{activation} - \text{baseline}}{\text{activation}_{\text{max}}}$$

Sur la base de ces essais, les valeurs normalisées observées se situent typiquement autour de 0 au repos, autour de 0.1 à 0.3 lors d'une contraction modérée, et au-delà de 0.8 lors d'une contraction forte.

À court terme (boucle intra-phase), une activation normalisée inférieure à un seuil θ_{\min} (par exemple $\theta_{\min} \approx 0.1$) empêche le déclenchement de l'action. Une activation comprise dans une zone cible $[\theta_{\text{low}}, \theta_{\text{high}}]$ (par exemple $[0.3, 0.7]$) permet l'exécution normale de l'action.

En mode de contrôle continu, le maintien de l'activation dans cette zone cible pendant une durée Δt (par exemple 300 à 500 ms) autorise l'application d'un ajustement discret, tel qu'un bonus de hauteur de saut ou un changement de palier de vitesse.

À plus long terme (boucle inter-phases), une augmentation persistante du taux d'erreur ou une dégradation de la stabilité du contrôle sur plusieurs parties consécutives conduit à une réduction de la difficulté globale, tandis qu'une performance stable dans une plage cible peut déclencher une augmentation progressive de la difficulté.

L'ensemble de ces seuils est volontairement borné et susceptible d'être ajusté lors des phases d'évaluation futures afin de tenir compte des différences interindividuelles et de l'évolution de l'utilisateur au cours du temps.

3.4 Gestion des conflits et priorités d'adaptation

Lorsque plusieurs paramètres du modèle utilisateur suggèrent simultanément des adaptations contradictoires (par exemple une performance élevée qui pousserait à augmenter la difficulté, mais une fatigue croissante qui exigerait au contraire de la réduire), le système applique une politique de résolution basée sur des priorités explicites. Les adaptations du jeu portent sur un ensemble limité de paramètres de gameplay (fréquence d'apparition des obstacles, vitesse des obstacles, tolérance des collisions), ajustés par paliers et bornés dans des plages prédéfinies afin d'éviter des changements extrêmes. À chaque fin de phase (ou de partie), le système calcule pour chaque critère (fatigue, stabilité du contrôle/précision, performance, taux d'erreur) une recommandation d'ajustement (augmenter, maintenir, diminuer la difficulté).

Ces recommandations sont ensuite combinées par ce mécanisme :

- (i) les paramètres liés à la sécurité et à l'état physiologique (fatigue) ont priorité absolue et peuvent bloquer toute augmentation de difficulté ;
- (ii) la stabilité du contrôle (précision) est prioritaire sur la performance et peut imposer une augmentation temporaire de la tolérance ou une réduction de la vitesse si le contrôle est instable ;
- (iii) les adaptations basées sur la performance et le taux d'erreur ne s'appliquent que si fatigue et stabilité sont jugées acceptables.

Enfin, pour éviter des oscillations (adaptations trop fréquentes ou incohérentes), le système impose une inertie : une condition doit persister sur plusieurs fenêtres/parties avant d'entraîner un changement, et au plus un palier de difficulté est modifié par cycle d'adaptation. Cette stratégie garantit que les adaptations restent cohérentes et sécurisées : en cas de conflit, la prévention de la surcharge musculaire et la robustesse du contrôle prennent toujours sur l'optimisation des performances.

3.5 Niveaux implicites et progression par phases

Bien que Re:Gain ne comporte pas de niveaux explicites (type “Level 1”, “Level 2”), le jeu reste pleinement compatible avec une logique de progression multi-niveaux. Ici, la notion de “niveau” est interprétée comme un état d’adaptation du système, c'est-à-dire un ensemble de paramètres de difficulté et de contrôle fixés pour une période donnée.

Concrètement, une session de jeu est structurée en phases successives (ou “paliers”) correspondant à différents réglages de difficulté (par exemple fréquence d'apparition des obstacles, vitesse des obstacles, tolérance aux collisions). À l'issue de chaque partie, ou à intervalles réguliers, le modèle utilisateur met à jour ses estimations (fatigue, stabilité du contrôle, performances) et sélectionne le palier suivant. La progression est donc progressive et personnalisée, même si elle n'est pas explicitement affichée.

Par exemple, une session est décrite comme :

- * (i) une phase d'entrée et de stabilisation (difficulté faible, forte tolérance),
- * (ii) une phase de difficulté ajustée en fonction des performances,
- * (iii) une phase de maintien ou de réduction de la difficulté en cas de fatigue détectée.

Ainsi, Re:Gain propose une progression “multi-niveaux” au sens fonctionnel du terme, basée sur l'adaptation plutôt que sur des niveaux fixes.

4 Évaluation du système

L'évaluation du projet vise à vérifier la pertinence des choix de modélisation et d'adaptation proposés, ainsi que leur adéquation avec un usage interactif basé sur l'effort physiologique.

4.1 Critères d'évaluation

Étant donné que les mécanismes d'adaptation reposent sur des règles heuristiques et non sur des modèles appris, l'évaluation ne porte pas sur des performances de prédiction, mais sur la cohérence du comportement du système et la qualité de l'interaction.

Les principaux critères envisagés sont :

- * **Réactivité du système** : temps de réponse entre l'effort musculaire et le feedback visuel ou l'action de jeu associée.
- * **Stabilité de l'interaction** : capacité du système à éviter des déclenchements erratiques ou injustes en présence de fluctuations du signal EMG.
- * **Cohérence des adaptations** : adéquation entre l'état estimé de l'utilisateur (fatigue, instabilité du contrôle) et les ajustements appliqués à la difficulté du jeu.
- * **Sécurité et prévention de la surcharge** : capacité du système à limiter les sollicitations en cas de fatigue musculaire ou de perte de contrôle.
- * **Acceptabilité et utilisabilité** : perception par l'utilisateur du contrôle, de l'effort requis et de la compréhension des règles d'adaptation.

4.2 Métriques envisagées

Les critères ci-dessus peuvent être opérationnalisés via une combinaison de mesures objectives et subjectives :

- * **Latence d'interaction** (ms) entre l'entrée EMG et l'effet en jeu.
- * **Taux d'erreurs de contrôle** : collisions, actions ratées ou déclenchements non désirés.
- * **Succès au premier obstacle et temps avant le premier échec** : indicateurs dédiés à la robustesse de la phase d'entrée.
- * **Variabilité du contrôle** : fluctuations de l'activation musculaire autour d'une zone cible (stabilité du contrôle moteur).
- * **Fréquence et amplitude des adaptations déclenchées** : vérifier que l'adaptation reste ni excessive (instable), ni insuffisante (inefficace).
- * **Mesures subjectives** : charge cognitive (NASA-TLX) et satisfaction / utilisabilité (SUS ou questionnaire simplifié).
- * **Consommation des cœurs** : nombre moyen de cœurs perdus par minute et distribution des collisions "non fatales", afin d'évaluer si la tolérance réduit l'échec précoce sans rendre le jeu trivial.

4.3 Évaluation pilote envisagée

Une évaluation pilote est envisagée sur un petit nombre de participants (par exemple 3 à 5 utilisateurs). Chaque participant suivra un scénario simple comprenant :

- * une phase de calibrage,

- * une ou plusieurs sessions en **contrôle discret**,
- * une ou plusieurs sessions en **contrôle continu**.

L'analyse se concentrera notamment sur :

- * la fluidité de l'interaction et la réactivité perçue,
- * la compréhension du feedback et des règles d'adaptation,
- * l'évolution de l'effort et de la stabilité du contrôle au cours de la session,
- * la perception de la pertinence et de l'équité des adaptations.

Cette évaluation pilote doit permettre de vérifier si le système atteint son objectif principal : proposer une interaction adaptative, progressive et physiologiquement cohérente.

5 Conclusion

Ce dossier de conception a présenté les principes de modélisation et d'adaptation du projet Re :Gain, en s'appuyant sur l'exploitation de signaux électromyographiques comme modalité d'interaction pour un jeu vidéo adaptatif. Les choix techniques et conceptuels effectués visent à garantir une interaction physiologique cohérente, progressive et adaptée à l'état de l'utilisateur.

À ce stade du projet, l'acquisition du signal EMG, son traitement ainsi que la modélisation des paramètres utilisateur ont été mis en place et validés indépendamment. Une interface de jeu fonctionnelle a également été développée. Les prochaines étapes concerneront la connexion effective entre le pipeline de traitement du signal et la boucle de jeu interactive, ainsi que l'exploration de stratégies d'évaluation permettant d'analyser la pertinence des adaptations proposées.