



**HAL**  
open science

## Vers une méthode d'analyse de signaux audio-visuels et cardiaques pour la détection de dissonances éthiques basée sur l'émotion et l'attention

Ilyes Bendjoudi, Fadi Dornaika, Denis Hamad, Frédéric Vanderhaegen

### ► To cite this version:

Ilyes Bendjoudi, Fadi Dornaika, Denis Hamad, Frédéric Vanderhaegen. Vers une méthode d'analyse de signaux audio-visuels et cardiaques pour la détection de dissonances éthiques basée sur l'émotion et l'attention. Congrès Lambda Mu 22 " Les risques au cœur des transitions " (e-congrès) - 22e Congrès de Maîtrise des Risques et de Sécurité de Fonctionnement, Institut pour la Maîtrise des Risques, Nov 2020, Le Havre (e-congrès), France. hal-03453611

**HAL Id: hal-03453611**

**<https://hal.science/hal-03453611v1>**

Submitted on 28 Nov 2021

**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.



# Vers une méthode d'analyse de signaux audio-visuels et cardiaques pour la détection de dissonances éthiques basée sur l'émotion et l'attention

## Towards a method to analyze audio-visual and cardiac signals for the detection of ethical dissonances based on emotion and attention

Ilyes Bendjoudi  
LAMIH-UMR 8201  
Université Polytechnique Hauts-de-France  
Valenciennes, France  
[ilyes.bendjoudi@uphf.fr](mailto:ilyes.bendjoudi@uphf.fr)

Denis Hamad  
LISIC  
Université du Littoral et la Côte d'Opale  
Calais, France  
[denis.hamad@univ-littoral.fr](mailto:denis.hamad@univ-littoral.fr)

Frédéric Vanderhaegen  
LAMIH-UMR 8201  
Université Polytechnique Hauts-de-France  
Valenciennes, France  
[frederic.vanderhaegen@uphf.fr](mailto:frederic.vanderhaegen@uphf.fr)

Fadi Dornaika  
Universidad del País Vasco  
San Sebastián, Espagne  
[fadi.dornaika@ehu.eus](mailto:fadi.dornaika@ehu.eus)

**Résumé :** Cet article propose un modèle original de détection de dissonances éthiques basées sur l'émotion et l'attention à partir de signaux audio-visuelles et cardiaques. Le modèle identifie, à partir de signaux audiovisuels, des ruptures émotionnelles dues à un phénomène de dissonance. Il s'inspire du Reverse Comic Strip, et prend en compte la synchronisation des événements dynamiques avec le rythme cardiaque, synchronisation qui peut affecter l'attention et les capacités perceptives.

**Abstract:** This article proposes an original model to detect ethical dissonances based on emotion and attention from audio-visual and cardiac signals. The model identifies, from audiovisual signals, emotional state breakdowns due to a phenomenon of dissonance. It is inspired by the Reverse Comic Strip, and takes into account the synchronization of dynamic events with the heart rate, synchronization which can affect attention and perceptual abilities.

**Mots clés :** dissonance éthique, signaux audio-visuels, fréquence cardiaque, émotion, attention

### I. INTRODUCTION

L'évolution technologique résultant du développement accru des médias numériques au travail est susceptible d'avoir un impact grave sur le comportement humain. La dissonance éthique est un exemple. Elle concerne la souffrance ou un malaise dû à un conflit entre des croyances ou valeurs personnelles ou collectives avec certaines décisions. L'étude des dissonances provient des travaux en sciences cognitives [1] et sciences de l'ingénierie [2]. Le

concept a ensuite été exploré dans le cadre de l'analyse de la fiabilité humaine pour étendre l'étude de l'erreur humaine à celle des dissonances d'usage des systèmes sociotechniques [3, 4, 5, 6]. Une dissonance éthique due à un échec de coopération entre un opérateur humain et un robot, par exemple, peut impacter des facteurs tels que le malentendu, la frustration, l'embarras ou l'étonnement. Parmi ces facteurs, il y a les émotions dont la détection fait l'objet de recherches basées sur la reconnaissance faciale ou vocale [7]. Pour les dissonances attentionnelles, qui sont des écarts entre l'attention perçue et l'attention réelle, la synchronisation des événements dynamiques, comme les alarmes, avec le rythme cardiaque augmente considérablement le nombre d'erreurs dans leur détection [8]. Cet article propose une approche pour détecter les dissonances éthiques basées sur l'émotion et les dissonances attentionnelles à partir de signaux audio-visuels et cardiaques. Il présente une architecture théorique pour l'identification automatisée de dissonances éthiques, et les résultats des études préliminaires précédentes motivent la faisabilité de sa mise en œuvre. La première étude concerne le Reverse Comic Strip pour obtenir le retour des sentiments subjectifs représenté par des visages, des pensées ou des mots. La deuxième étude concerne l'augmentation des erreurs dans la détection d'alarmes visuelles et auditives lorsqu'elles sont synchronisées avec le rythme cardiaque. La section II présente la relation entre le concept de dissonance et le processus d'analyse de la fiabilité humaine. La section III propose un exemple pratique du Reverse Comic Strip. La

section IV présente les résultats d'une étude sur l'effet de la synchronisation des alarmes avec les battements du cœur sur l'attention, tandis que la section V présente une architecture multimodale pour détecter les dissonances éthiques à partir de signaux audio-visuels et cardiaques.

## II. DE L'ANALYSE DE LA FIABILITE HUMAINE A L'INGENIERIE DE LA DISSONANCE

La fiabilité humaine peut être définie comme la capacité de réaliser les objectifs requis et tâches supplémentaires, à un moment donné ou pendant un intervalle de temps, avec des conséquences acceptables en ce qui concerne les critères tels que la sûreté, la sécurité, la charge de travail, la qualité ou la production de services [5].

L'erreur humaine est le complémentaire de la fiabilité humaine. Elle est la capacité de l'homme à ne pas réaliser ses tâches prescrites ou supplémentaires correctement. Des méthodes d'évaluation de l'erreur humaine pour l'analyse prospective, rétrospective ou cognitive existent pour évaluer qualitativement ou quantitativement les comportements humains. [9-20]. Beaucoup d'entre eux considèrent principalement la première série de tâches, i.e., ils étudient les éventuelles erreurs humaines liées à la nature de ce que l'utilisateur est censé faire.

De plus, ils se concentrent généralement sur l'impact des erreurs humaines sur la sécurité du système ou sur les comportements humains lors du contrôle de situations d'urgence ou critique. Les méthodes prospectives visent à l'anticipation de l'erreur humaine lors de la conception d'un système homme-machine. Les méthodes rétrospectives expliquent les erreurs humaines qui se produisent sur le terrain et provoquent des incidents ou des accidents. Ils produisent un retour d'expérience et permettent de proposer des adaptations éventuelles du système sociotechnique afin de le rendre plus fiable en empêchant l'occurrence d'erreurs humaines. Certaines de ces méthodes sont basées sur un modèle cognitif et analysent l'erreur humaine en appliquant une taxonomie d'erreurs, en définissant les facteurs possibles qui facilitent l'occurrence d'une erreur humaine, ou en identifiant les causes et les conséquences possibles des erreurs. D'autres approches de la fiabilité humaine en ligne sont basées sur des mesures d'indicateurs. Elles sont liées, par exemple, à des mesures quantitatives de la charge de travail ou du stress, ou à des résultats d'évaluation subjective [21-27].

Plus récemment, les concepts d'ingénierie de la résilience ont été développés pour étudier la gestion de la sécurité sur des systèmes critiques. La résilience des systèmes est alors définie par sa capacité à se remettre de toute instabilité [5]. Les systèmes d'aide basés sur les principes de coopération ou d'apprentissage peuvent alors être définis afin de rendre le système plus résilient aux erreurs [28-35]. Les dissonances sont interprétées comme des causes possibles de l'instabilité humaine lorsqu'elles sont détectées ou contrôlées et ont des conséquences en termes de malaise, de surcharge ou de stress, ou lorsqu'elles ne sont pas perçues alors que les sujets ont l'impression de se comporter correctement. Le succès du contrôle de ces dissonances rend le système résilient, tandis que les échecs le rendent vulnérable.

Le concept de dissonance est approprié parce qu'il peut prendre en compte plusieurs facteurs subjectifs ou

quantitatifs pour identifier les perturbations humaines à partir d'un référentiel de base et les analyser, ou pour envisager un référentiel erroné ou inexistant, voire plusieurs référentiels contradictoires, et pour traiter des signaux faibles à partir de ces références [5]. De plus, différentes stratégies de contrôle ou de détection de dissonances peuvent être appliquées et étudiées pour renforcer la connaissance ou la croyance humaine [3, 4].

L'architecture proposée dans la section V est basée sur les résultats de deux études présentées dans les sections III et IV. Elle considère le traitement de deux facteurs : 1) l'émotion par l'analyse de signaux audiovisuels de sujets confrontés à des dissonances, et 2) l'inattention pouvant provoquer un manque de réaction émotionnelle.

## III. LE REVERSE COMIC STRIP POUR L'ANALYSE DES EMOTIONS

Le support du Reverse Comic Strip vise à identifier les émotions au cours des activités humaines en déterminant les expressions du visage et de la pensée, [36, 37].



**Figure 1 : Découverte du sens des voyants allumés dans les images 1, 2 et 3.**

L'étude porte sur la découverte de règles d'interprétation des systèmes de signalisation présentés dans [37]. Elle consiste à découvrir la bonne règle concernant les feux allumés dans les différents panneaux, Fig. 1.

Le processus de découverte a porté sur 36 sujets qui ont été invités à définir une règle concernant l'allumage ou l'extinction des voyants des supports de signalisation des images 1, 2 et 3. La première étape concernait la règle découverte de l'image 1. Avant le processus de découverte de l'image 2, la bonne règle de l'image 1 a été donnée. De même, avant d'engager le processus de découverte de l'image 3, la bonne règle à l'image 2 a été donnée. Par conséquent, l'apprentissage associé au processus de découverte a été supervisée car, à chaque étape, la bonne règle a été donnée aux sujets. Pour les images 1 et 2, lorsque les feux sont allumés, le train s'arrête aux stations correspondantes. Sur l'image 3, il y a deux lignes de métro, et les voyants allumés signifient la présence d'un train à la gare correspondante.

### Résultats pour Fig.1 image 1

#### (1) Procéssus de découverte

Découverte de la bonne règle	Découverte de la mauvaise règle	Aucune découverte
28	7	1

#### (2) Image choisie

				
6	4	10	19	11

#### (3) Pensées ou mots

**Emotion positive :** "Facile".

**Emotion multiple:** "Les stations desservies mais au départ c'était flou", "Qu'est ce que c'est ? Ah ok!", "Qu'est ce que c'est ? Ah oui, je comprends les instructions", "Qu'est ce que ça peut bien représenter ? Ah oui ! ", "Je ne comprends pas mais je crois que c'est les stations où on s'arrête", "Je n'avais pas compris au début", "Wow, qu'est ce que toutes ces informations ? Ah ok, les stations desservies par la ligne".

**Emotion négative:** "Pas sûr !", "Qu'est ce que ça représente ? Pourquoi ça ne dessert pas toutes les stations", "Qu'est ce que cette image représente ?", "Je n'ai pas vraiment compris", "Je ne sais pas", "Je n'ai pas compris le sens des indicateurs, à l'heure ou en retard ? ", "Incompréhensible".

Figure 2 : Résultats sur l'image 1 de la fig1.

### Résultats pour Fig.1 image 2

#### (1) Procéssus de découverte

Découverte de la bonne règle	Découverte de la mauvaise règle	Aucune découverte
25	11	0

#### (2) Image choisie

				
4	1	6	12	21

#### (3) Pensées ou mots

**Emotion positive:** "Facile", "Image plus lisible, plus compréhensible, une meilleure ergonomie dans l'écran d'affichage", "Pareil qu'avant", "Je connais ce principe", "Je connais, j'ai l'habitude de prendre le métro".

**Emotion négative:** "Ecran trop petit et pas clair", "Je n'ai pas compris", "C'est petit, on ne voit rien !", "Pas sûr, est ce que c'est de l'autre côté ?", "Le RER A continue à avoir des problèmes sur cette ligne", "Doute sur le passage du train quand les lumières sont éteintes".

Figure 3 : Résultats sur l'image 2 de la fig1.

Concernant les paramètres du Reverse Comic Strip, (voir Fig.2, Fig.3, Fig.4), les images 1 et 3 génèrent plus d'émotions négatives en termes d'images sélectionnées, de pensées ou de mots, cela est dû à la nouveauté des situations. D'autre part, la découverte de l'exercice lié à l'image 2 est moins stressante au vu des images sélectionnées et a généré des émotions positives en termes de pensées ou de mots parce que les sujets se sentent plus rassurés et estimaient que la règle associée à l'image 3 était identique à celle des images 1 et 2. Or cette similitude est erronée.

### Résultats pour Fig.1 image 3

#### (1) Procéssus de découverte

Découverte de la bonne règle	Découverte de la mauvaise règle	Aucune découverte
0	27	7

#### (2) Image choisie

				
9	6	12	11	6

#### (3) Pensées ou mots

**Emotion multiple :** "Je ne vois pas grand chose mais je crois que c'est la même chose, qu'est ce que Simonis Elisabeth ?", "Je ne comprends pas mais je crois que le RER ne s'arrête pas quand les lumières sont allumées", "Aucune idée, je ne sais pas ce que c'est, peut être l'heure d'arrivée des trains ? et les noms correspondent aux stations".

**Emotion négative:** "Difficile à lire", "Difficile à comprendre, pas très visible", "Pas visible !", "Je n'ai pas compris", "Je ne comprends pas les images de loin", "Je ne comprends pas l'affichage", "Pourquoi ça ne s'arrête pas à toutes les stations ?", "J'ai des difficultés à comprendre", "Je me demande si j'interprète les images correctement", "Pas très lisible", "Je ne comprends pas", "Qu'est ce que c'est ? ", "Je ne comprends pas le sens", "C'est bizarre".

Figure 4 : Résultats sur l'image 3 de la fig1.

Cette étude montre la présence de dissonances éthiques principalement dues à deux facteurs. Le premier facteur est l'utilisabilité d'un système qui affecte les valeurs d'autonomie liées à la mobilité pour tous [38, 39, 40]. Le second facteur est le conditionnement erroné de l'apprentissage affectant également les valeurs d'autonomie par la production volontaire ou involontaire de connaissance erronées.

De telles conclusions motivent la définition d'une architecture pour déterminer les émotions automatiquement en prenant en compte les expressions faciales et verbales.

#### IV. SYNCHRONISATION DES BATTEMENT DU COEUR AVEC DES EVENEMENT DYNAMIQUES

La deuxième étude concerne les résultats d'une expérimentation relative à l'impact sur l'attention humaine de la synchronisation d'alarmes avec la fréquence cardiaque [8]. Elle consiste à détecter les alarmes visuelles et auditives au cours d'une séquence de quatre niveaux de difficulté. Pour chaque niveau de difficulté, les sujets ont été invités à contrôler des curseurs et des boutons et à réagir à l'apparition d'alarmes en poussant un bouton, Fig.5. Ces alarmes apparaissent 10 secondes dans la même zone, six fois pour le niveau 1 et 8 fois pour les autres niveaux, mais à des moments différents.

Deux groupes de sujets ont été définis : un groupe pour lesquels l'apparition de l'alarme était synchronisée avec le rythme cardiaque des sujets et un groupe pour lequel elle ne l'était pas

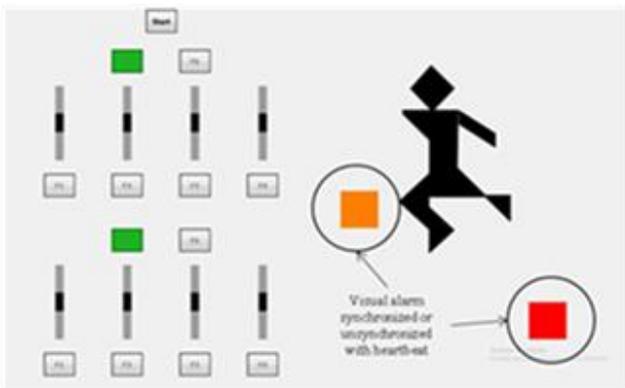


Figure 5 : Processus de contrôle et occurrence des alarmes au niveau de difficulté 3 et 4.

La figure 6 donne des résultats sur le taux d'inattention pour la détection des alarmes. Les sujets du groupe synchronisé a fait considérablement plus d'erreurs de détection d'alarme que ceux du groupe non synchronisé.

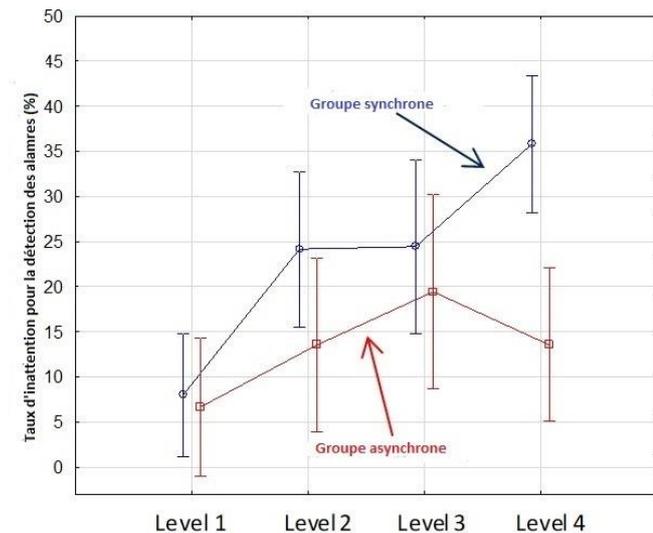


Figure 6 : Taux d'inattention pour la détection d'alarmes

Les données obtenues par des méthodes subjectives ont montré que les sujets ne sont pas conscients de la dégradation de leurs performances en termes de perception.

Cette dissonance est dû à une omission non-consciente affectant les valeurs d'autonomie des personnes en termes de capacité à réagir. La proposition de notre architecture prend donc en compte cette nouvelle modalité d'inattention qui peut avoir un impact sur les dissonances éthiques.

#### V. VERS UN MODELE MULTIMODAL POUR L'ANALYSE DE L'ATTENTION ET DES EMOTIONS

Le modèle proposé s'imprègne des résultats des sections III et IV. Il s'agit dans un premier temps de déterminer l'état émotionnel à partir d'un réseau de neurones, et dans un second temps de prendre en compte une mesure de l'attention.

L'analyse bimodale des émotions est basée sur les mouvements du facies et les expressions verbales (prosodie et analyse des caractéristiques spectrales [41]). En se référant à [42] l'état émotionnel est décrit à, respectivement, 55 % et 45 % par les informations faciales et verbales.

Les deux principaux axes classiques [43] pour l'analyse des expressions faciales sont : l'extraction des caractéristiques géométriques et l'extraction des caractéristiques d'apparence. Les deux sont codifiés dans le système de codification dans des unités d'actions (FACS) [44]. Plus récemment, les réseaux neuronaux convolutifs (CNN) [45] ont été utilisés pour l'extraction des caractéristiques faciales indépendamment des méthodes classiques.

Les principales caractéristiques de la prosodie sont les suivantes : la hauteur, l'intensité, l'énergie et la durée de la parole. Les caractéristiques spectrales sont les plus utilisées dans la littérature [46, 47, 48] où les coefficients cepstraux Mel-spectrogramme (MFCC) sont utilisés pour modéliser le système de perception humaine.

Comme l'émotion ne suffit pas pour détecter s'il y a, ou non, un risque de dissonance, nous avons conçu un modèle bimodal pour identifier les ruptures émotionnelles à partir de la voix et des expressions faciales (voir Fig.7). Les ruptures émotionnelles indiquent la présence de dissonances, notamment lorsque le sujet est face à un événement inattendu.

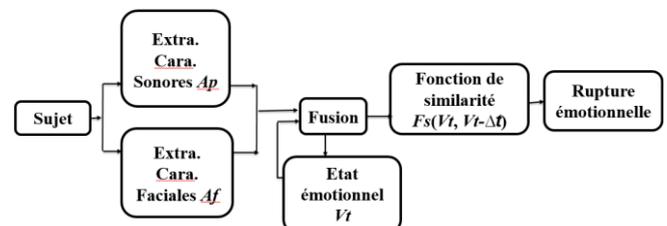


Figure 7 : Modèle pour la détection de ruptures émotionnelles

L'extraction des caractéristiques faciales est faite par un CNN 3D (temporel) afin de relever l'empreinte de l'expression faciale comme un vecteur de caractéristiques au temps  $t$ . Nous désignons  $A_f$  le vecteur des caractéristiques faciales.

Comme dans [49] nous calculons des segments de Mel-spectrogramme de l'audio en entrée puis nous calculons le vecteur Mel-spectrogramme 2D, qui peut être considéré comme une image RVB en 2D. Elle peut donc être propagée

dans un CNN 2D. Nous désignons  $A_p$  le vecteur des caractéristiques audio.

Dans le module de fusion, les deux vecteurs  $A_f$  et  $A_p$  sont concaténés. Le vecteur résultant  $V_t$  décrit l'état émotionnel au moment  $t$ . Pour détecter une rupture émotionnelle (RE), nous calculons la distance entre  $V_t$  et  $V_{t-1}$  comme suit :

$$RE(t) = \begin{cases} \text{Vrai si} & F_{sim}(V_t, V_{t-1}) > \alpha \\ \text{Faux} & \text{sinon} \end{cases} \quad (1)$$

Où  $\alpha$  est un seuil empirique, et

$$F_{sim} = d(V_t, V_{t-1}) \quad (2)$$

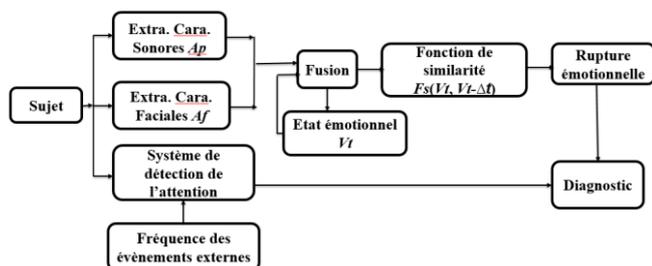
Où,

$$d(p, q) = \sqrt{\sum_i^N (p_i - q_i)^2} \quad (3)$$

Où  $p$  et  $q$  sont deux vecteurs de tailles  $N$ .

Il est essentiel de noter que la nature même des émotions n'est pas calculée. Nous produisons une représentation de l'état émotionnel sous forme d'un vecteur de caractéristiques. Nous n'avons pas inclus de couche de classification pour réduire la complexité spatiale et temporelle.

D'autre part, l'attention est un élément primordial à prendre en considération lors de la détection de dissonances éthiques. Si l'opérateur humain n'est pas attentif, hypothétiquement, aucun changement de son état émotionnel ne se produira. Comme le montre la section IV lorsque le rythme cardiaque est synchronisé avec un événement externe dynamique, le risque d'inattention augmente. Nous avons conçu un modèle multimodal basé sur la détection de RE, auquel nous avons ajouté la dimension de l'attention à partir de cette synchronisation entre événements externes dynamiques et rythme cardiaques (voir fig.8).



**Figure 8 : Vers une architecture multimodale pour l'analyse de l'attention et des émotions**

L'attention est calculée en capturant la fréquence cardiaque (avec une montre connectée, par exemple) qui est comparée à la fréquence d'évènements dynamiques externes.

RE	Attention	Diagnostic
0	0	Risque de dissonance
0	1	Etat normal
1	0	RE erronée ou malaise
1	1	Dissonance détectée

**Table 1 : Table de vérité pour le diagnostic de dissonance éthique**

Nous proposons une table de vérité (Table 1) pour produire un diagnostic à partir d'une rupture émotionnelle et de l'attention. Lorsque la RE et l'attention sont négatives, le sujet doit être alarmé pour être attentif car il existe un risque de dissonance éthique. L'état normal est celui où le sujet est attentif, et aucune RE n'est détectée. La situation où une RE est détectée et où le sujet ne fait pas attention peut refléter un problème de santé (crise cardiaque, par exemple) ou que la RE est erronée. Enfin, lorsque la RE et l'attention sont positives cela veut dire qu'une dissonance éthique a été détectée.

## VI. CONCLUSION

Ce papier présente une méthode originale pour la spécification d'un modèle de détection de dissonances éthiques basé à la fois sur l'émotion et l'attention analysées à partir de signaux audiovisuels et cardiaques. Les résultats des deux protocoles expérimentaux la motivent. Le premier utilise le Reverse Comic Strip pour identifier l'émotion en utilisant des images, des pensées ou des mots qui reproduisent les sentiments d'un sujet. La seconde étude a montré que la synchronisation des fréquences des événements dynamiques externes avec la fréquence cardiaque augmente le risque d'inattention de manière significative. Par conséquent, un modèle multimodal a été proposé. Il se fonde sur ces approches pour diagnostiquer automatiquement les dissonances éthiques liées à l'émotion et à l'attention.

La validation de ce modèle sera faite en trois étapes. La première étape consiste à valider les émotions à travers les expressions du visage. La deuxième étape sera axée sur la caractérisation de la voix afin de détecter les émotions à travers les mots exprimés par le sujet. La dernière étape consistera à fusionner les traitements audiovisuels avec le système de détection de l'attention afin de diagnostiquer les dissonances éthiques exprimées en termes de rupture émotionnelle et d'inattention.

Ce modèle permettra d'étudier des évolutions émotionnelles en fonction de l'attention humaine. Par rapport aux travaux sur le Reverse Comic Strip de la section III de cet article, il pourra déterminer les difficultés d'usage ou de compréhension de tel ou tel support d'interaction, et être une aide efficace à la conception de systèmes d'assistance ou de programmes de formation. Il fournira des indicateurs émotionnels et attentionnels pouvant être interprétés en termes d'acceptabilité ou d'utilisabilité de nouvelles technologies ou interfaces par exemple. De plus, des comportements liés à l'alexithymie, i.e. des comportements liés à l'absence d'émotions, peuvent

s'expliquer à partir des résultats de la section IV relatifs à la synchronisation d'événements dynamiques avec la fréquence cardiaque : l'absence de réactions émotionnelles face à un danger peut s'expliquer par une cécité cognitive temporaire due à cette synchronisation. Le modèle sera par conséquent un support original pour étudier les transitions émotionnelles et attentionnelles face à des changements technologiques ou lors de l'occurrence d'incidents ou d'accidents impliquant des facteurs techniques, organisationnels ou humains. Ces transitions sont des ruptures émotionnelles, des passages d'un état attentif à un état inattentif ou inversement. Les dissonances éthiques associées dépendent des systèmes de valeur ou de croyance de chacun, ces systèmes pouvant former un référentiel universel ou relatif de l'éthique. Le modèle proposé dans cet article pourra également déterminer ces référentiels à partir d'une approche conséquentialiste basée sur les émotions et l'attention. Ainsi l'occurrence de dissonances éthiques pourra d'une part s'expliquer à partir de relations entre les capacités perceptives et les conséquences émotionnelles des éléments perçus, et d'autre part être associée à des situations d'incompréhension ou de gêne, à l'absence de compétences, à des décisions difficiles ou à la détection de situations surprenantes ou dangereuses par exemple.

#### REFERENCES

- [1] L. Festinger, "A theory of cognitive dissonance," Palo Alto: Stanford Univ Press, 1957.
- [2] G. Y. Kervern, *Elements fondamentaux des 'codynamiques*. Economica, 1995.
- [3] F. Vanderhaegen, "Dissonance engineering: a new challenge to analyse risky knowledge when using a system," *International Journal of Computers Communications & Control*, vol. 9, no. 6, pp. 776–785, 2014.
- [4] F. Vanderhaegen, "A rule-based support system for dissonance discovery and control applied to car driving," *Expert Systems With Applications*, vol. 65, pp. 361–371, 2016.
- [5] F. Vanderhaegen, "Towards increased systems resilience: New challenges based on dissonance control for human reliability in cyber-physical&human systems," *Annual Reviews in Control*, vol. 44, pp. 316–322, 2017.
- [6] F. Vanderhaegen and O. Carsten, "Can dissonance engineering improve risk analysis of human-machine systems?," 2017.
- [7] R. Kostı, J. Alvarez, A. Recasens, and A. Lapedriza, "Context based emotion recognition using EMOTIC dataset," *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, in press.
- [8] F. Vanderhaegen, M. Wolff, and R. Mollard, "Synchronization of stimuli with heart rate: a new challenge to control attentional dissonances," in "Automation Challenges of Sociotechnical Systems – Paradoxes and Conflicts", F. Vanderhaegen, C. Maaoui, M. Sallak, D. Berdjag, Eds. London:ISTE and Hoboken: Wiley, 2019, pp. 1–28.
- [9] J. Reason, *Human error*. Cambridge university press, 1990.
- [10] B. Kirwan, "Validation of human reliability assessment techniques: part 1—validation issues," *Safety Science*, vol. 27, no. 1, pp. 25–41, 1997.
- [11] F. Vanderhaegen, "A non-probabilistic prospective and retrospective human reliability analysis method—application to railway system," *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 71, no. 1, pp. 1–13, 2001.
- [12] R. Kubota, K. Kiyokawa, M. Arazoe, H. Ito, Y. Iijima, H. Matsushima, and H. Shimokawa, "Analysis of organisation-committed human error by extended cream," *Cognition, Technology & Work*, vol. 3, no. 2, pp. 67–81, 2001.
- [13] P. C. Cacciabue, "Human error risk management for engineering systems: a methodology for design, safety assessment, accident investigation and training," *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 83, no. 2, pp. 229–240, 2004.
- [14] F. Vanderhaegen, D. Jouglet, and S. Piechowiak, "Humanreliability analysis of cooperative redundancy to support diagnosis," *IEEE Transactions on Reliability*, vol. 53, no. 4, pp. 458–464, 2004.
- [15] E. Hickling and J. Bowie, "Applicability of human reliability assessment methods to human-computer interfaces," *Cognition, technology & work*, vol. 15, no. 1, pp. 19–27, 2013.
- [16] S. W. Dekker, "The danger of losing situation awareness," *Cognition, Technology & Work*, vol. 17, no. 2, pp. 159–161, 2015.
- [17] S. Qiu, N. Rachedi, M. Sallak, and F. Vanderhaegen, "A quantitative model for the risk evaluation of driver-adas systems under uncertainty," *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 167, pp. 184–191, 2017.
- [18] S. Rangra, M. Sallak, W. Schon, and F. Vanderhaegen, "A graphical model based on performance shaping factors for assessing human reliability," *IEEE Transactions on Reliability*, vol. 66, no. 4, pp. 1120–1143, 2017.
- [19] P. Polet, F. Vanderhaegen, and S. Zieba, "Iterative learning control based tools to learn from human error," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 25, no. 7, pp. 1515–1522, 2012.
- [20] M. Bevilacqua and F. E. Ciarapica, "Human factor risk management in the process industry: A case study," *Reliability Engineering System Safety*, vol. 169, pp. 149–159, 2018.
- [21] F. Vanderhaegen, "Toward a model of unreliability to study error prevention supports," *Interacting With Computers*, vol. 11, no. 5, pp. 575–595, 1999.
- [22] F. Vanderhaegen, "Human-error-based design of barriers and analysis of their uses," *Cognition, Technology & Work*, vol. 12, no. 2, pp. 133–142, 2010.
- [23] F. Vanderhaegen and V. Jimenez, "The amazing human factors and their dissonances for autonomous cyber-physical & human systems," in *First IEEE conference on industrial cyber-physical systems*, Saint-Petersbourg, Russia, pp. 14–18, 2018.
- [24] J. C. de Winter, Y. B. Eisma, C. Cabrall, P. Hancock, and N. A. Stanton, "Situation awareness based on eye movements in relation to the task environment," *Cognition, Technology & Work*, vol. 21, no. 1, pp. 99–111, 2019.
- [25] S. Samima, M. Sarma, D. Samanta, and G. Prasad, "Estimation and quantification of vigilance using erps and eye blink rate with a fuzzy model-based approach," *Cognition, Technology & Work*, vol. 21, no. 3, pp. 517–533, 2019.
- [26] P. Sanderson, J. Crawford, A. Savill, M. Watson, and W. J. Russell, "Visual and auditory attention in patient monitoring: a formative analysis," *Cognition, Technology & Work*, vol. 6, no. 3, pp. 172–185, 2004.
- [27] J. L. Rosch and J. J. Vogel-Walcutt, "A review of eye-tracking applications as tools for training," *Cognition, technology & work*, vol. 15, no. 3, pp. 313–327, 2013.
- [28] D. Jouglet, S. Piechowiak, and F. Vanderhaegen, "A shared workspace to support man-machine reasoning: application to cooperative distant diagnosis," *Cognition, Technology & Work*, vol. 5, no. 2, pp. 127–139, 2003.
- [29] F. Vanderhaegen, S. Zieba, S. Enjalbert, and P. Polet, "A benefit/cost/deficit (bcd) model for learning from human errors," *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 96, no. 7, pp. 757–766, 2011.
- [30] F. Aguirre, M. Sallak, F. Vanderhaegen, and D. Berdjag, "An evidential network approach to support uncertain multiviewpoint abductive reasoning," *Information Sciences*, vol. 253, pp. 110–125, 2013.
- [31] K. A. Ouedraogo, S. Enjalbert, and F. Vanderhaegen, "How to learn from the resilience of human-machine systems?," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 26, no. 1, pp. 24–34, 2013.
- [32] F. Vanderhaegen and S. Zieba, "Reinforced learning systems based on merged and cumulative knowledge to predict human actions," *Information Sciences*, vol. 276, pp. 146–159, 2014.
- [33] S. Enjalbert and F. Vanderhaegen, "A hybrid reinforced learning system to estimate resilience indicators," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 64, pp. 295–301, 2017.
- [34] Z. Zhang, P. Polet, F. Vanderhaegen, and P. Millot, "Artificial neural network for violation analysis," *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 84, no. 1, pp. 3–18, 2004.

- [35] F. Vanderhaegen, "Cooperation and learning to increase the autonomy of adas," *Cognition, Technology & Work*, vol. 14, no. 1, pp. 61–69, 2012.
- [36] F. Vanderhaegen, "Toward a reverse comic strip based approach to analyse human knowledge," *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 46, no. 15, pp. 304–309, 2013.
- [37] F. Vanderhaegen, "Dissonance engineering for risk analysis: a theoretical framework," *Risk Management in Life-Critical Systems*, pp. 157–181, 2015.
- [38] Friedman, Batya, and Peter H. Kahn Jr. "Human values, ethics, and design." *The human-computer interaction handbook (2003)*: 1177–1201.
- [39] Gallez, Caroline, and Benjamin Motte-Baumvol. "Inclusive mobility or inclusive accessibility? A European perspective" (2017).
- [40] Vanderhaegen, F. "Pedagogical learning supports based on human–systems inclusion applied to rail flow control." *Cognition, Technology & Work*, in press.
- [41] M. El Ayadi, M. S. Kamel, and F. Karray, "Survey on speech emotion recognition: Features, classification schemes, and databases," *Pattern Recognition*, vol. 44, no. 3, pp. 572–587, 2011.
- [42] A. Mehrabian, "Communication without words," *Communication theory*, pp. 193–200, 2008.
- [43] Z. Zeng, M. Pantic, G. I. Roisman, and T. S. Huang, "A survey of affect recognition methods: Audio, visual, and spontaneous expressions," *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, vol. 31, no. 1, pp. 39–58, 2008.
- [44] P. Ekman and W. V. Friesen, "Facial Action Coding System," Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press, 1978.
- [45] C. Fabian Benitez-Quiroz, R. Srinivasan, and A. M. Martinez, "Emotionet: An accurate, real-time algorithm for the automatic annotation of a million facial expressions in the wild," in *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, pp. 5562–5570, 2016.
- [46] Z. Zeng, J. Tu, B. M. Pianfetti, and T. S. Huang, "Audio–visual affective expression recognition through multistream fused hmm," *IEEE Transactions on multimedia*, vol. 10, no. 4, pp. 570–577, 2008.
- [47] Y. Wang and L. Guan, "Recognizing human emotional state from audiovisual signals," *IEEE transactions on multimedia*, vol. 10, no. 5, pp. 936–946, 2008.
- [48] S. Zhalehpour, O. Onder, Z. Akhtar, and C. E. Erdem, "Baum-1: A spontaneous audiovisual face database of affective and mental states," *IEEE Transactions on Affective Computing*, vol. 8, no. 3, pp. 300–313, 2016.
- [49] S. Zhang, S. Zhang, T. Huang, W. Gao, and Q. Tian, "Learning affective features with hybrid deep model for audio–visual emotion recognition," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 28, no. 10, pp. 3030–3043, 2017.