

UNIVERSITÉ SAÂD DAHLAB BLIDA 1
FACULTÉ DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

THÈSE DE DOCTORAT EN SCIENCE

Systeme Biométrique Multi-modale Adaptatif

Présentée par

Harizi Farid

devant le jury composé de :

Président	BENSELAMA ZOUBIR ABDESSALAM	Professeur	à l'USDB
Rapporteur	GUESSOUM ABDERREZAK	Professeur	à l'USDB
Examineurs	BENALLAL AHMED	Professeur	à l'USDB
	HAMAMI LATIFA	Professeur	à l'ENP
	ADNANE MOURAD	Professeur	à l'ENP
	BOUMGHAR FATIMA	Professeur	à l'USTHB

BLIDA 2018

الملخص

يتم إدخال القياسات الحيوية في نظام التحكم في الوصول التقليدية، للتغلب على عيوبها، عن طريق الحد من آثار الأعمال الاحتياالية. ويتم تقليل هذه الأخيرة من خلال إدخال معلومات حية من مقدم الطلب حيث يوجد الحديث عن نظام التحكم في الوصول إلى البيومترية. هذه الأطروحة نقطتين رئيسيتين. الأولى مكرسة لتحسين أداء النظام البيومتري.

من ناحية أخرى، والمقصود المكون الثاني إلى حل مشكلة أساسية لجعل نظام القياسات الحيوية عن بعد لاسلكية أكثر جدوى. نظام البيومترية يتطلب من المستخدم أن يكون نفسه أمام نظام مراقبة الدخول. هذا الأخير يلتقط عينة من المعلومات الحية، على سبيل المثال، صور لطريقة الوجه، عدة إطارات للإشارة الصوتية، وهلم جرا.

وهكذا، فإن نظام القياسات الحيوية يجعل التقديرات، وفقاً لخوارزمية معينة جزءاً لا يتجزأ من النظام تليها عملية صنع القرار. ولا يتم حذف هذا القرار من التقديرات التي أجراها النظام على عينة من البيانات التي يوجد منها خطأ في التقدير، وبالتالي أخطاء في التصنيفات/القرارات الكاذبة. في هذا العقد الأخير، كان هناك استثمار هائل في البحوث للحد من هذا الاحتمال من

وتركز أطروحة على المساهمة/اقتراح الحلول لتحسين نظام القياسات الحيوية وجعلها ممكنة للتطبيقات الأمنية اللاسلكية عن بعد. ويتم تحقيق الهدف الأول من خلال دمج العديد من النظم البيومترية على مقياس النتيجة، وتسبقها درجة التطبيع دعا تطبيع محددة أو لا تزال تعتمد على إحصاءات المستخدم. هذا التوحيد لديه ميزة الحد من تأثير حديقة حيوان دودينغتون.

ويوجد هذا التأثير من وجهة النظر التالية. كيف يرى النظام الدخيل الذي يصل إليه من خلال احتكار هوية الآخرين؟ وبالمثل بالنسبة للعملاء المقبولة أو رفض كاذبة؟ الجواب على أسئلته لدفع البحث لتجميع الناس للمصادقة مجموعات اسم الحيوان لمنحهم بعض الخصوصية. على سبيل

المثال، يتم تعيين أسماء الأغنام والذئب للعميل والمغيب أن النظام يقبل والآخر يرفض دون صعوبة. المعروف أن الأغنام وكذلك الذئب من خلال قراراتهم للدفاع عن أراضيهم مع لا هواده فيها، وهذا ليس هو الحال بالنسبة الثعلب والضأن. الناس الذين يعانون من خصوصية مثل الثعلب أو الضأن يصعب الكشف عنها بواسطة نظام القياس الحيوي. هذا تطبيع درجة معينة يقوي موقف العملاء ضعيفة ويقلل من قوة الدخلاء.

النقطة الثانية، موضوع تعامل في هذه الرسالة، يتوافق مع الجانب تطبيق نظام الأمن عن بعد اللاسلكية تحت الأرض مثل الألغام والأنفاق والأنفاق تحت الأرض وغيرها. ويتطلب هذا الرصد عن بعد قناة إرسال ذات سرعة عالية. ويمكن تحقيق هذا الشرط عند زيادة قدرة القناة. ولتحقيق ذلك، قدمنا نهجا جديدا لزيادة هذه القدرة، استنادا إلى دمج عدة نوافذ (التناقص التدريجي) من خلال نهج تجميع يسمى (OWA).

Résumé

Les techniques de biométrie lorsqu'elles sont introduites dans un système de contrôle d'accès classique permettent d'augmenter significativement la robustesse de celui-ci et de parer aux actes frauduleux. Pour cela, les signes vitaux (autrement appelés information vivante) du demandeur d'accès sont retenus comme paramètres clés pour l'identification de l'utilisateur, et on parle alors d'un système de contrôle d'accès biométrique. Dans cette perspective, cette thèse s'articule autour de deux points clés. Le premier est consacré à l'amélioration des performances du système biométrique. Et, le second vise à résoudre un problème de fond pour rendre le système biométrique distant sans fil plus pratique et donc déployable. En effet, le système biométrique, tel qu'il est de nos jours, impose à l'utilisateur d'être lui-même devant le système de contrôle d'accès. Ce dernier capture un échantillon d'information vivante, telle que des images pour la modalité visage ou plusieurs trames pour la modalité vocale, etc. Par la suite, le système biométrique effectue des estimations, selon un algorithme embarqué dans le système, suivi d'une prise de décision non dépourvue d'erreur. Ceci est due aux imperfections d'estimation que fait le système sur un échantillon de données, et aux erreurs résultantes de fausse classification/décision qui s'en suivent. Il est vrai que durant cette dernière décennie, des efforts considérables ont été consentis dans la recherche pour réduire cette probabilité d'erreur, et ces efforts sont toujours déployés afin d'atteindre les performances escomptées d'un système largement adopté. La thèse s'oriente vers la proposition de solutions pour améliorer le système biométrique et le rendre réalisable pour des applications de sécurité distante sans fil dans un second stade. Le premier objectif est atteint par fusionnement à l'échelle score de plusieurs systèmes biométriques, succinctement à l'application d'une normalisation particulièrement en score dénommée dans la littérature scientifique très récente comme normalisation spécifique ou encore normalisation centrée autour de statistiques de l'utilisateur. Cette normalisation a l'avantage de réduire ce que l'on appelle l'effet de Doddington Zoo. Ce dernier, relève de la façon dont le système voit l'intrus qui y accède en accaparant l'identité des autres, ou même les clients qui sont acceptés ou rejetés fausement. La quête de la perception du système des intrus ou des clients a orienté les chercheurs vers le groupement des sujets à authentifier, et l'association de ces groupes avec un nom d'animal pour leur donner un certain caractère, ou comportement. Pour exemple, les associations

mouton et loup sont assignées respectivement au client et à l'imposteur que le système accepte pour le premier, et rejette pour le second, sans difficulté. Le mouton similairement au loup est caractérisé par sa détermination à défendre son territoire avec acharnement, ce qui n'est pas le cas du renard et de l'agneau. Les sujets ayant une spécificité similaire à celle du renard ou de l'agneau sont difficilement décelables par le système biométrique. Un des objectifs de la normalisation spécifique de score renforce la position des clients faibles et affaiblit les intrus.

Le second aspect d'intérêt mentionné dans cette thèse, concerne le côté applicatif d'un système de sécurité distant dans des environnements souterrains, tels que les mines, les tunnels et les galeries souterraines. Ces canaux sont d'intérêt économique pour la sécurisation des opérations d'extraction de la matière première dans les mines, mais aussi militaires pour des communications non conventionnelles. Le but est d'assurer des transmissions haut-débit dans ces milieux hostiles, tout en assurant une immunisation de l'information contre l'interférence. Pour cela le débit que le canal peut offrir doit être augmenté de façon à approcher sa capacité, tout en assurant la sécurisation nécessaire. Cette condition est réalisable lorsqu'on augmente la capacité du canal. Pour ce faire, nous avons introduit une nouvelle approche, basée sur une fusion de plusieurs fenêtres (tapers) via une approche OWA (Ordered Weighted Averaging).

Abstract

Biometry techniques have been introduced in the conventional access control system, enhance the robustness of this latter and combat the effects of fraudulent acts. To achieve that, the vital signs (or otherwise referred to as live information) from the access requester are retained as the key parameters for the identification of the user, and we speak then of a biometric access control system. Under this perspective, this thesis revolves around two key points. The first one is dedicated to improving the performance of the biometric system itself. On the other hand, the second aims to solve a fundamental problem to make the wireless remote biometric system more practical, and hence fit for deployment. Indeed, the biometric system, as it is nowadays, requires the user to put himself in front of the access control system. Then, this one collects samples of living information, images for the face modality, or several frames for the vocal modality, and so on. Afterwards, the biometric system calculates estimates, according to a certain algorithm which is embedded in the system followed by a decision-making. This decision is not devoid of errors, due to the imperfections of the estimates made by the system on data samples and to the resulting errors of false classifications/decision which follow. It is a fact that in this last decade, considerable efforts were made in research to reduce this probability of error, and these efforts are still ongoing so that to reach the performances expected from a widespread system. The thesis focuses on proposing solutions to improve the performances of the biometric system at a first level, and to make it feasible for remote wireless security applications at a second level. The first objective is achieved by merging several biometric systems at the score scale, subsequently to the application of a particular score normalization, referred to in the very recent scientific literature as specific normalization or user statistics-dependent normalization. This normalization has the advantage of reducing the effect of Doddington Zoo. This effect concerns the way the system perceives the intruder who accesses it by stealing the identity of others or even accepted or falsely rejected clients. The quest of the system perception of intruders and clients, has oriented the research community towards the grouping of the subjects to authenticate, and the association of these groups with an animal name to give them a certain character. Worthy to note that by character, we mean behavior. For example, sheep and wolf names are assigned to the client and the impostor that the system accepts for the former and

rejects for the latter, character without any difficulty. The sheep, as well as the wolf, are characterized by their determinations to defend their territories with relentlessness, which is not the case of the fox and the lamb. One of the objectives of the specific score normalization is to strengthen the position of weak clients and weaken the intruders.

The second mentioned aspect of interest to this thesis, concerns the application side of a wireless remote security system in underground environments, such as mines, tunnels, underground tunnels and others. These channels hold an economical interest for the securing of the extraction operations of the raw material in the mines, for a military one, as well, for non-conventional communications. To attain such objectives, we have introduced a new approach, based on a merging of several windows (tapers) via an aggregation approach, called OWA (Ordered Weighted Averaging).

Remerciements

Cette thèse n'aurait pas été achevée sans l'aide et précieux conseils de mon encadreur, **Professeur Abderrezak Gessoum**. Sa culture scientifique, sa disponibilité et sa simplicité sont autant d'éléments qui ont favorisé le développement de cette thèse. Je tiens à lui exprimer ma profonde gratitude pour m'avoir accepté en thèse. Il m'a toujours encouragé et soutenu durant toutes ces années de préparation de cette thèse. Ses nombreux conseils, orientations et ses très vastes connaissances des sujets abordés m'ont permis d'acquérir des connaissances complémentaires.

Je remercie chaleureusement les membres de Jury qui m'ont fait l'honneur d'évaluer ce modeste travail de thèse. Je remercie chaleureusement Mr. A.Z.Benselama, Professeur à l'USDB de m'avoir fait l'honneur de présider ma soutenance. Mes vives remerciements vont également à Mr. A.Benallal, Professeur à l'USDB et à Mme. L.Hamami, Professeur à l'ENP et à Mr. M.Adnane, Professeur à l'ENP et à Mme. F.Boumghar, Professeur à l'USTHB d'avoir accepté d'agrémenter ce travail avec leurs remarques et conseils.

Je remercie tous ceux sans qui cette thèse ne serait pas ce qu'elle est : aussi bien par les discussions que j'ai eu la chance d'avoir avec eux, leurs suggestions ou contributions. Je pense ici en particulier au Professeur Khalida Ghanem (CDTA), au Dr. Farid Ghanem et au Dr.Yacine Himeur.

Pour leurs encouragements et leur assistance aussi bien matérielle que morale qui m'ont permis de faire cette thèse dans de bonnes conditions, je remercie chaudement ma très chère mère et ma très chère épouse et ma très chère soeur ainsi que le reste de la famille.

A la mémoire de mon très cher père, qui a été toujours dans mon esprit et dans mon coeur, et je lui dédie aujourd'hui ce modeste travail, qu'Allah, le miséricordieux, l'accueille dans son éternel paradis.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à tous ceux qui m'ont apporté leur soutien, leur amitié ou leur expérience tout au long de ce travail de thèse.

Ce travail n'aurait pu être mené à bien sans la disponibilité et l'accueil chaleureux que m'a témoigné les membres de la division télécom (CDTA)

Farid Harizi

TABLE DES MATIERES

Résumé	iii
Abstract	v
GLOSSAIRE	xiii
INTRODUCTION GENERALE	1
1 La biométrie	1
2 Objectif de la thèse	3
3 Questions de recherche	4
4 Contributions originales	5
5 Publications	5
1 SYSTEMES BIOMETRIQUES	9
1 Introduction	9
2 Espace de travail	11
3 Espace score	11
4 Fusion de systèmes biométriques	12
4.1 Introduction	12
4.2 Les différents systèmes multimodaux	12
4.3 Les différents niveaux de fusion biométrique	15
4.4 Méthodes de fusion des scores	18
5 Normalisation de l'espace score	19
5.1 Identification de techniques de normalisation de scores	20
5.2 Les différentes techniques de normalisation de scores	20
5.3 Normalisation des scores par interprétation	24
6 Conclusion	27
2 Agrégation partielle des utilisateurs pour la normalisation de score biométrique d'un système monomodal ou de fusion multimodale	29
1 Introduction	29
2 Cadre mathématique	31

2.1	Méthode de Normalisation de Score Spécifique de l'Utilisateur (user-specific)	33
2.2	Méthode de Normalisation Proposée	35
3	Conclusion	44
3	Analyse de l'agrégation partielle des utilisateurs pour la normalisation de score biométrique d'un système monomodal ou de fusion multimodal	45
1	Introduction	45
2	Stabilité et paramètres de l'analyse	45
2.1	Analyse de la stabilité	45
2.2	Paramètres et métriques de l'analyse	47
3	Analyse	51
3.1	Bases de données	51
3.2	Résultats et discussions	53
3.3	Benchmarking de système de fusion biométrique Multi-modal	57
4	Conclusion	61
4	Adoption et analyse d'approche de fusion OWA de multitapers pour une application de contrôle biométrique distant sans fil	75
1	Introduction	75
2	Les objectifs de la technologie LTE	76
3	Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)	77
4	La communication Multiple-Input-Multiple-Output (MIMO)	81
5	Les différentes technologies d'antennes	87
6	Estimation de la réponse impulsionnelle du canal de transmission	88
7	L'Opérateur OWA	90
7.1	Formulation mathématique de l'opérateur d'agrégation OWA	90
7.2	Mesure de 'Andness' et 'Orness'	94
7.3	Introduction de l'entropie pour l'estimation de W	94
8	Estimation de la capacité du canal de transmission	95
9	Analyse	96
10	Conclusion	101
	Conclusion Générale	103
A	Fenêtrage (windowing)	105
1	Fenêtre de Hamming	106
2	Fenêtre de Blackman	108
3	Fenêtre de Kaiser	109

4	Fenêtre de Chebyshev ou Tchebitchev, ou Dolph-Chebyshev	110
5	Quelques interprétations sur les différents types de fenêtres	111
REFERENCES		115

GLOSSAIRE GLOSSAIRE

GLOSSAIRE

AMPS	Advanced Mobile Phone System
coopLOPGLP	cooperative between Linear Opinion Pool and LoGarithmic Opinion Pool
COP	Cooperative Opinion Pool
DET	Detection Error Trade-off
dev	development
D_{KL}	Kullback-Leibler Divergence
DMT	Discret MultiTones
DSL	Digital Subscriber Line
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
EM	Expectation and Maximization
epc	Expected Performance Curve
erf	error function
eva	evaluation
F	F-norm
FAR	False Acceptance Rate
FDM	Frequency Division Multiplexing
FLOPCOP	LOPCOP dans l'espace F-norm
FMR	False Matching Rate
FNMR	False Non-Matching Rate
FRR	False Rejection Rate
Gen	Genuine
GMI	Global Most Informative
GMM	Gaussian Mixture Models normalization
GMMLOPCOP	LOPCOP dans l'espace GMM
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Globale System for Mobile communication

HSPA	High-Speed Packet Access
HTER	Half Total Error Rate
Imp	Impostor
LGP	LoGarithmic Opinion Pool
LMI	Local Most Informative
LOP	Linear Opinion Pool
LOPCOP	LOP with COoP erative research of the most informative statistics localisation
LP1	Lausane Protocols 1
LP2	Lausane Protocols 2
LTE	Long Term Evolution
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MMS	Multimedia Message Service
MSE	Mean Square Error
NIST	National Institute of Standards and Technology
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QQ	two Quadratics
ROC	Relative Operating Characteristic
SMS	Short Message Service
tanh	tangente hyperbolique
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
Var	Variance
WER	Weighted Error Rate
Z	Z -norm
ZLOPCOP	LOPCOP dans l'espace Z -norm

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Champs applicatifs d'un système biométrique.	3
Figure 2	Système biométrique filaire local.	4
Figure 3	Système biométrique distant filaire (Web).	4
Figure 4	Système biométrique distant sans fil.	5
Figure 1.1	Principaux groupes d'approches de fusion en scores d'un système biométrique multimodal	18
Figure 1.2	Les principaux types d'approches de normalisation de score pour un système biométrique.	21
Figure 1.3	La fonction tangente hyperbolique.	23
Figure 1.4	L'intervalle d'incertitude existant entre les deux distributions, clients et imposteurs.	24
Figure 1.5	Fonction de mapping de la méthode de normalisation QQ	25
Figure 2.1	Diagramme de flux global de notre proposition.	37
Figure 2.2	Divergence de Kullback-Leibler de la distribution centrale (noire) par rapport aux distributions voisines. Où $D_{kl}(C A)$ $D_{kl}(C B)$ $D_{kl}(C D)$ $D_{kl}(C E)$ sont 21.1937, 6.1945, 6.1945, 21.1937, respectivement.	40
Figure 2.3	Cinq distributions (A, B, C, D, E) disposées de façon à avoir une vue symétrique et leurs distributions regroupées agrégées, tout d'abord, la LGP (ligne rouge), suivie par la LOP (ligne bleue) et des distributions de coopLOPLGP (pointillée en marron et ligne noire). . .	41
Figure 2.4	Cinq distributions (A, B, C, D, E) avec la distribution C disposée de telle sorte à pouvoir créer une vue non-symétrique de l'ensemble. Puis nous avons LOP (ligne bleue), LGP (ligne rouge) et des distributions de coopLOPLGP (pointillée en marron et ligne noire). .	41

Figure 2.5	Densités de probabilités des Clients et des imposteurs avec leurs distributions de coopLOPLGP respectives de la base de données score XM2VTS.	43
Figure 3.1	Région correspondante au taux de faux rejets ou taux de fausse non-correspondance et taux de fausses acceptations ou taux de fausses correspondances, résultante du chevauchement de la distribution globale des clients avec celle des imposteurs.	49
Figure 3.2	Étude de l'effet d'espace sur l'ensemble de données de XM2VTS, a) Graphe epc pour HTER regroupée avec différents points de fonctionnement $\alpha = 0.1$ à 0.9 , b) Erreur Relative Faux Rejet pour ensemble de points de fonctionnement $\alpha < 0.5$, c) Erreur Relative de Fausse Acceptation pour ensemble de points disfonctionnement $\alpha > 0.5$, d). Faux Non Matching Taux (FNMR) relatif au faux Match taux (FMR) relatif égale à 0.01% et, e) Faux Non-Matching Taux (FNMR) relatif au Taux Faux Matching (FMR) relatif égal 0.1%	62
Figure 3.3	La Moyenne de l'écart-type de (a) Intra-Variance-Clients de l'ensemble de développement, (b) Intra-Variance-Clients de l'ensemble de l'évaluation, (c) Intra-Variance-imposteurs de l'ensemble données developpement, (d) Intra-Variance-imposteurs de l'ensemble de l'évaluation, de la base donnée score XM2VTS.	63
Figure 3.4	False Non-Match Rate (FNMR) relatif au False Match Rate (FMR) relatif égale à 0.01% pour différente taille des scores des utilisateurs pour la base donnée score Nist2005 : (a) 3 échantillons, (b) 4 échantillons, (c) 5 échantillons, (d) 6 échantillons	64
Figure 3.5	False Non-Match Rate (FNMR) relatif au False Match Rate (FMR) relative égale à 0.1% pour différente taille des scores utilisateurs pour la base données score Nist2005 : (a) 3 échantillons, (b) 4 échantillons, (c) 5 échantillons, (d) 6 échantillons	65
Figure 3.6	Corrélation entre les différents systèmes biométriques de la base de données score XM2VTS pour le protocole LP1 avec les modalités (visage, voix).	66

Figure 3.7	Corrélation entre les différents systèmes biométriques de la base de données score XM2VTS pour le protocole LP2 avec les modalités (visage, voix).	67
Figure 3.8	DET de différentes approches de normalisation de scores (globale et spécifique à l'utilisateur) avec différentes modalités dans un contexte mono-modale, à partir d'empreintes digitales (a, b), face (c, d) et voix (e, f).	68
Figure 3.9	DET de différentes approches de normalisation de scores avec des modalités différentes dans un contexte de fusion par la sommation simple de système bi-modale, à partir de (empreinte, visage) dans (a, b), (empreinte, voix) en (c, d) et (visage, voix) dans (e, f). . . .	69
Figure 3.10	DET de différentes approches de normalisation de score avec des modalités différentes dans un contexte de fusion tri-modale par la sommation simple. Nous comparons notre proposition avec des techniques globales dans (a) et avec des techniques spécifiques à l'utilisateur au point b.	70
Figure 3.11	DET de différentes approches de normalisation en fonction du nombre de modalités différentes (un à huit) dans un contexte de fusion multimodale par la sommation simple.	71
Figure 3.12	DET de différentes comparaisons d'approches de normalisation de score en fonction du nombre de modalités dans un contexte de fusion multimodale (un à quatre) par la sommation simple.	72
Figure 3.13	DET de différentes comparaisons d'approches de normalisation score en fonction du nombre de modalités dans un contexte de fusion multimodale (cinq à huit) par sommation simple.	73
Figure 4.1	Le problème du multi-trajets dans une communication sans fil. . .	77
Figure 4.2	Le problème du multi-trajets dans une communication sans fil. . .	77
Figure 4.3	ISI et l'évanouissement selectif fréquentiel.	78
Figure 4.4	Données transportées sous la forme d'un ensemble de paquets. . .	79
Figure 4.5	Schéma blocs d'une modulation OFDM.	81
Figure 4.6	Spectre des sous-porteuses et de leurs superposition spectrale (spectre de la modulation OFDM).	82

Figure 4.7	Schéma blocs : Série/Parallèle avec codage données (4QAM) pour donnée codée sur 8bits.	83
Figure 4.8	Exemple de Série/Parallèle avec codage données (4QAM) pour donnée codée sur 8bits.	84
Figure 4.9	Chaîne de communication mobile	86
Figure 4.10	Différentes Topologies d'antennes : SISO, MISO, SIMO, et MIMO.	86
Figure 4.11	Système MIMO et le multi-trajet de l'onde transmise.	86
Figure 4.12	Système multi-input, multi-output (MIMO) de topologie 2x2.	86
Figure 4.13	Antenne Monopole.	87
Figure 4.14	Antenne de type PATCH.	87
Figure 4.15	Dualité Temps-Fréquence.	89
Figure 4.16	Système multi-input, multi-output (MIMO).	89
Figure 4.17	Impulse response of the whole channel component and the fast fading component.	97
Figure 4.18	Comparaison de capacité ergodique suivant une configuration de 2 fenêtres.	98
Figure 4.19	Comparaison de capacité ergodique suivant une configuration de 2, 3 et 4 fenêtres.	99
Figure 4.20	Ricean K values in terms of distance for different windows aggregation.	100
Figure A.1	fenêtre de Hamming.	107
Figure A.2	fenêtre de Blackman.	108
Figure A.3	fenêtre de Kaiser.	110
Figure A.4	fenêtre de Chebichev.	111

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1	Formule de normalisation spécifique à l'utilisateur	34
Tableau 2.2	Description des types d'experts avec un dimensionnement uniforme.	43
Tableau 3.1	La description de base de données XM2VTS [1]	52
Tableau 3.2	Description de base de données BioSecure DS2 [2] [3]	53
Tableau 3.3	terminologie et notation adoptée dans la section analyse comparative.	53
Tableau 3.4	Résultats expérimentaux des différentes approches appliquées sur la base de données XM2VTS au sens du EER a posteriori en %.	56
Tableau 3.5	Erreur de stabilité relative pour LOPCOP. La stabilité correspond à la moyenne des Déviations Standard d'Intra-Variance-Clients avec celles d'Intra-Variance-imposteurs de l'ensemble de développement et d'évaluation, de la base de données score XM2VTS.	56
Tableau 3.6	Les résultats expérimentaux pour F-norm et Z-norm pour différents espaces, appliquées à la base données scores Biosecure DS2 S_1 , en terme de FNMR@FMR=0.01% & 0.1%.	57
Tableau 3.7	Les combinaisons possible des différents systèmes (visage, voix) du protocole LP1.	59
Tableau 3.8	Les combinaisons possible des différents systèmes (visage, voix) du protocole LP2.	59

INTRODUCTION GENERALE

1 La biométrie

Le développement des technologies d'impression et de reproduction s'est accompagné de la multiplication d'actes de malveillance notamment la falsification de documents d'identification des personnes et leur utilisation frauduleuse. Cette situation a amené les scientifiques à investir le champ qu'offre l'informatique pour innover des moyens efficaces pour assurer la protection des biens des gens ainsi que la sécurité de l'économie d'un pays. Parmi les méthodes qui font en fait l'objet d'intenses recherches, la biométrie s'est avérée particulièrement attrayante en raison des nombreux avantages qu'elle procure. En matière de contrôle d'accès biométrique (voir Figure 1), on y trouve la surveillance sans fil, comme la surveillance souterraine pour ce qui est des mines, des tunnels ou encore la surveillance extérieure. En surveillance sans fil, les personnes se trouvant dans la zone sécurisée sont constamment surveillées par un système de monitoring automatique, où l'identification est faite en temps réel, afin d'éviter tout acte frauduleux. Le système de surveillance biométrique traite l'information reçue. Cette information est capturée sous forme de flux ou trame d'un enregistrement ou capture vidéo nécessitant un canal à haut débit. L'aspect du débit dépend directement de ce qu'on appelle la capacité du canal. À cet effet, une application d'approche de fusion est proposée pour améliorer la fluidité d'un système de contrôle biométrique, distant sans fil, objet d'une publication. Notre contribution, du point de vue applicatif, améliore considérablement le débit par l'augmentation de la capacité du canal de transmission pour un système biométrique distant sans fil.

Notre travail de recherche traite la problématique de la sécurité biométrique. En fait, la biométrie, de nos jours, est devenue l'un des axes de recherche les plus demandés, et ceci du fait de l'importance de la sécurité des biens des citoyens. Le principe de cette nouvelle manière de sécuriser est basé essentiellement sur l'utilisation des informations consti-

tutionnelles physiologiques ou même comportementales, de la personne, voulant accéder ou faire une transaction ou encore faire d'autres actions dont elle a le droit. Ainsi, les actes frauduleux se réduisent notablement par rapport à l'ancien système de contrôle où le demandeur d'autorisation peut oublier son code d'identifiant ou encore égarer sa carte porteuse d'identifiants. L'information biométrique ou aspect biométrique, à savoir, le visage, la voix, l'iris, l'ADN, la forme de la main, la manière de taper sur un clavier et même la manière de marcher, constitue la source d'information d'un système biométrique. Ce dernier, est constitué de plusieurs blocs de bases allant de l'acquisition à la décision en passant par la segmentation puis la classification. Toutes ces étapes constituent ce qu'on appelle le système de reconnaissance de formes (pattern recognition). Des investigations en matière de recherche ont été longtemps investies dans le choix du classificateur avec pour but de réduire la probabilité d'une fausse classification. Les performances ne sont toutefois pas acceptables. Étant donné que les erreurs d'une fausse classification à savoir une fausse acceptation et un faux rejet ne sont pas négligeables, quand l'une s'accroît l'autre décroît, une limitation de performance est inévitable. De nouvelles tentatives ont été investies dans la fusion de plusieurs classificateurs pour la même modalité, c'est-à-dire plusieurs systèmes biométriques utilisant la même information biométrique, appelés systèmes biométriques à base de fusion d'approches. Il a été alors montré, que les performances sont nettement ressenties, néanmoins, il reste toujours une limitation, dûe aux caractéristiques de l'information biométrique elle-même. Les caractéristiques d'un aspect biométrique qui sont une condition de base d'un système biométrique, regroupent l'universalité, l'individualité, l'invariance des données biométriques, etc. Mais il a été montré que l'aspect biométrique manque d'universalité, d'individualité et d'invariance de données. Le National Institute of Standards and Technologies (NIST) a rapporté qu'il n'était pas possible d'obtenir une bonne qualité d'empreinte digitale pour environ 2% de la population. De la même manière, des personnes ayant de très longs cils et celles souffrant d'anormalités des yeux ou de maladies oculaires ne peuvent fournir des images d'iris, ou de rétine, de bonne qualité pour une reconnaissance automatique. De même, pour le manque d'individualité dû au fait qu'une partie de la population peut avoir presque une même apparence faciale à cause des facteurs génétiques. D'autre part, le manque de représentation invariante de l'individu dû au problème de variations intra-classe, qui est causé par l'utilisation de données dans l'étape d'apprentissage et qui sont totalement différentes de celles mises en application. Avec toutes ces anomalies de la mono-modalité,

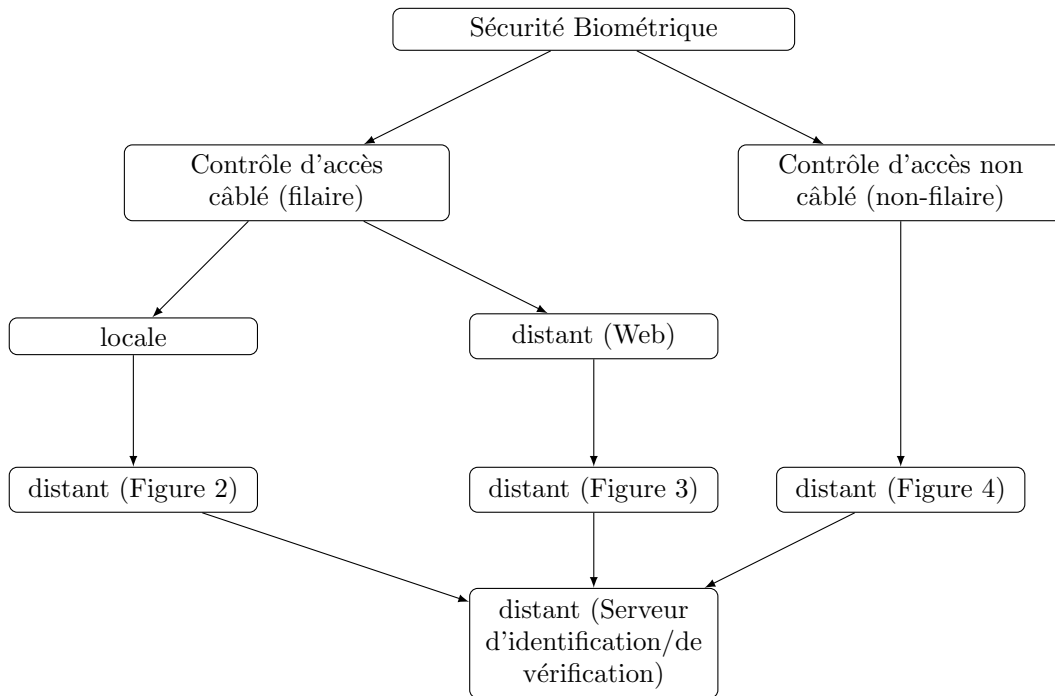


Figure 1 – Champs applicatifs d'un système biométrique.

il y a une nécessité d'aller vers le multimodal, qui nous permet de faire fusionner plusieurs systèmes biométriques avec des aspects/modalités différents, citons l'exemple du bimodal : fusion visage et voix. Il est bien évident que chaque étape constituant le système biométrique, contribue à la convergence ou à la divergence de l'algorithme de classification de sa solution optimale. De ce fait, il est primordial de prendre en considération les imperfections de ses étapes, à savoir une mauvaise acquisition de l'information dû au dispositif d'acquisition ou encore due à la qualité de l'information elle-même. Et cette dernière, peut mettre en échec tout le système biométrique. De nouveaux travaux dans le domaine de la fusion biométrique, se basent sur la pondération de l'opérateur de fusion par un paramètre qualité de la modalité utilisée, peuvent donner de l'importance à une modalité par rapport à une autre.

2 Objectif de la thèse

L'objectif de la thèse est de développer une approche de correspondance dédiée à un système biométrique multi-modal, adaptatif de fusion en scores. Le problème majeur consiste à réduire la probabilité de tomber dans l'erreur d'un système biométrique, ainsi que sa faisabilité dans un environnement contraignant, distant sans fil.



Figure 2 – Système biométrique filaire local.



Figure 3 – Système biométrique distant filaire (Web).

3 Questions de recherche

Les questions de recherche que la thèse traite, sont à la fois la minimisation des effets de valeurs aberrantes (outliers) à l'échelle score et l'aspect de pondération dans une fusion basée sur une combinaison linéaire ou non-linéaire. Ces coefficients de pondération sont un sujet de recherche et qui se base sur un attribut de concordance entre ces coefficients. De plus, cette thèse vise une étude de pondération originale basée sur une affectation ordonnée de coefficients de pondération. Ces derniers, sont les résultats de la résolution d'un problème d'optimisation non-linéaire avec contrainte.



Figure 4 – Système biométrique distant sans fil.

4 Contributions originales

La première contribution originale de cette thèse s'appuie sur l'étude et la validation d'une nouvelle approche de normalisation de scores biométriques mono-modale et multi-modale.

La seconde contribution originale de cette thèse exploite sur la capacité d'un canal de transmission pour un système biométrique, distant sans fil, et son amélioration par l'introduction d'une nouvelle approche basée sur la fusion de fenêtres par une approche d'agrégation appelée OWA (Ordered Weighted Averaging) [4].

5 Publications

Journal Articles

2017

- **Harizi, F.**, Gessoum, A., Ghanem, K. : Partial aggregation of users for biometric scores normalization. Digital Signal Processing 71, 144-163 (2017).

DOI <https://doi.org/10.1016/j.dsp.2017.09.008>.

URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1051200417302117>

- **F. Harizi** ; K. Ghanem ; M. Nedil ; A. Guessoum : Adopting ordered weighted averaging

approach in multitaper temporal channel estimates to enhance channel capacity, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Year : 2017, Volume : 16, Issue : 99, Pages : 1536 - 1225 DOI :10.1109/LAWP.2017.2750212.

Conference Papers

2015

- Elhocine Boutellaa, **Farid Harizi**, Messaoud Bengherabi, Samy Ait-Aoudia, Abdenour Hadid : Face verification using local binary patterns and generic model adaptation. IJBM 7(1) : 31-44 (2015).

2014

- Meriem Fedila, **Farid Harizi**, Messaoud Bengherabi, Abderrahmane Amrouche : Robust Speaker Verification Using a New Front End Based on Multitaper and Gammatone Filters. SITIS 2014 : 99-103.

2013

- Elie el Khoury, Bostjan Vesnicer, Javier Franco-Pedroso, Ricardo Violato, Z. Boulkenafet, L. M. Mazaira Fernandez, Mireia Díez, J. Kosmala, Houssemeddine Khemiri, T. Cipr, Rahim Saeidi, Manuel Günther, Jerneja Zganec-Gros, Rubén Zazo-Candil, Flávio O. Simões, Messaoud Bengherabi, Agustín Álvarez Marquina, Mikel Peñagarikano, Alberto Abad, M. Boulayemen, Petr Schwarz, David A. van Leeuwen, Javier Gonzalez-Dominguez, M. U. Neto, Elhocine Boutellaa, Pedro Gómez Vilda, Amparo Varona, Dijana Petrovska-Delacrétaz, Pavel Matejka, Joaquín González-Rodríguez, Tiago Freitas Pereira, **Farid Harizi**, Luis Javier Rodríguez-Fuentes, Laurent El Shafey, Marcus A. Angeloni, Germán Bordel, Gérard Chollet, Sébastien Marcel : The 2013 speaker recognition evaluation in mobile environment. ICB 2013 : 1-8.

- Elhocine Boutellaa, **Farid Harizi**, Messaoud Bengherabi, Samy Ait-Aoudia, Abdenour Hadid : Face Verification Using Local Binary Patterns and Maximum A Posteriori Vector Quantization Model. ISVC (1) 2013 : 539-549.

- Elhocine Boutellaa, Messaoud Bengherabi, Zinelabidine Boulkenafet, **Farid Harizi**, Abdenour Hadid : Face verification using local binary patterns generic histogram adaptation and Chi-square based decision. EUVIP 2013 : 142-147.

- Nassim Asbai, Messaoud Bengherabi, **Farid Harizi**, Abderrahmane Amrouche : Effect of the Front-End Processing on Speaker Verification Performance Using PCA and Scores Level

Fusion. ICETE (Selected Papers) 2013 : 359-368.

- Nassim Asbai, Messaoud Bengherabi, **Farid Harizi**, Abderrahmane Amrouche : Improving the Performance of Speaker Verification Systems under Noisy Conditions using Low Level Features and Score Level Fusion. SIGMAP 2013 : 33-38.

- Nassim Asbai, Messaoud Bengherabi, Abderrahmane Amrouche, **Farid Harizi** : Improving Speaker Verification Robustness by Front-End Diversity and Score Level Fusion. SITIS 2013 : 136-142.

2012

- Messaoud Bengherabi, **Farid Harizi**, Norman Poh, Elhocine Boutellaa, Abderrazak Guessoum, Mohamed Cheriet : Improving Biometric Verification Systems by Fusing Z-norm and F-norm. CCBR 2012 : 278-287.

- Messaoud Bengherabi, **Farid Harizi**, Abderrezak Guessoum, Mohamed Cheriet : Incorporating user specific normalization in multimodal biometric fusion system. ISSPA 2012 : 466-471.

2009

- Messaoud Bengherabi, Lamia Mezai, **Farid Harizi**, Abderrazak Guessoum, Mohamed Cheriet : 2DPCA-based techniques in DCT domain for face recognition. IJISTA 7(3) : 243-265 (2009).

- Messaoud Bengherabi, Lamia Mezai, **Farid Harizi**, Abderrazak Guessoum, Mohamed Cheriet : Robust Authentication using Likelihood Ratio based Score Fusion of Voice and Face. SIGMAP 2009 : 57-61.

2008

- Messaoud Bengherabi, Lamia Mezai, **Farid Harizi**, Abderrazak Guessoum, Mohamed Cheriet : Application of 2DPCA Based Techniques in DCT Domain for Face Recognition. CISIS 2008 : 243-250.

- Messaoud Bengherabi ; Lamia Mezai ; **Farid Harizi** ; Abderrazak Guessoum ; Mohamed Cheriet : Score Fusion of SVD and DCT-RLDA for Face Recognition. 2008 First Workshops on Image Processing Theory, Tools and Applications, Year : 2008, Pages : 1-8.

- Messaoud Bengherabi ; Lamia Mezai ; **Farid Harizi** ; Mohamed. Cheriet ; Abderrazak Guessoum : Face recognition based on 2DPCA, DIAPCA and DIA2DPCA in DCT domain. 2008 5th International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices, Year : 2008, Pages : 1-6.

- Messaoud Bengherabi ; Bilal Tounsi ; Hamid Bessalah ; **Farid Harizi** : Forensic Identification Reporting Using A GMM Based Speaker Recognition System Dedicated to Algerian Arabic Dialect Speakers. 2008 3rd International Conference on Information and Communication Technologies : From Theory to Applications, Year : 2008, Pages : 1-5.

2007

- Messaoud Bengherabi, **Farid Harizi**, Mohamed Cheriet, Abdelrazek Guessoum : A framework for a GMM-UBM based speaker verification and the need of a large arabic database. ISSPA 2007 : 1-4.

CHAPITRE 1

SYSTEMES BIOMETRIQUES

1 Introduction

L'échange de l'information, entre les êtres humains, est l'un des fondements de l'existence de l'humanité. Cette communication ne cesse d'être le centre d'intérêt de génération en génération, et ce dans le but, soit de suivre ou de revoir (corriger) la trace de la précédente, pour pouvoir prendre une bonne décision. De ce fait, une interprétation appropriée associée à une décision adéquate constitue le fondement de base de la théorie de la décision.

Le problème de la reconnaissance des formes en général est devenu l'une des préoccupations des chercheurs afin de résoudre l'un des problèmes soulevés depuis une décennie qui est le problème de sécurité. Les accès physique à un lieu ou virtuelle à une session distante/locale subissent constamment des actes frauduleux qui ne cessent de nuire, d'une part, à l'économie d'un état et, de l'autre, aux biens des particuliers.

Prendre une bonne décision lors d'un contrôle d'accès revient à minimiser l'erreur d'une fausse décision. Cette dernière dépend essentiellement du coût que peut engendrer une fausse décision et par conséquent les risques. La minimisation du risque que peut catalyser une fausse décision est en relation directe avec le niveau de pertinence de l'information avec laquelle la décision a été prise. Généralement, la prise de décision repose sur une **information incomplète** où le risque d'une fausse décision n'est pas négligeable. Wald [5] a démontré, qu'à partir d'un minimum d'information (échantillon) pertinente, on peut obtenir la représentativité d'une population.

Cette information qui n'est que le résultat du principe de causalité où l'effet dépend de la cause. Comme l'image dépend de la cause de son existence qui est la scène. Revenir à

la cause n'est pas toujours évident, c'est ce qu'on appelle l'inférence. Prenons par exemple le sondage d'opinion d'une population où l'on prend un échantillon de toute une population en vue d'une aide à la décision. La condition de la représentativité de l'échantillon repose sur toute une théorie qui est celle des probabilités. Il y a lieu d'estimer la densité de probabilité qui régit l'ensemble des échantillons à la place de la loi de probabilité de la population par l'utilisation de l'outil statistique mathématique sous condition de convergence en loi et convergence en moyenne. Les deux conditions sont vérifiées grâce respectivement au théorème de la loi de grand nombre et au théorème central limite. Ce qui a permis d'exploiter expérimentalement la théorie des probabilités. À travers les statistiques mathématiques, l'espérance mathématique n'est que la moyenne sous la condition de stationnarité et d'ergodicité d'ordre 2 [6][7].

L'information doit être compréhensible par l'utilisateur. Cette compréhension s'oriente à ce que cette information soit projetée et interprétée dans un espace qui est l'espace mathématique où tous les fondements théoriques sont exploités. Pour pouvoir exploiter l'information, on doit préciser l'espace de travail qui est un espace de signaux doté d'une structure d'espace de Hilbert [8] [9]. Un espace vectoriel muni d'un produit scalaire est un espace de Hilbert dit séparable. Avec cette structure d'espace vectoriel, on peut parler de notion de vecteur avec son dimensionnement (fini ou infini) et sa représentation, d'où l'existence de bases. La quantification ou la mesure de ce signal repose sur le concept du produit scalaire et par conséquent d'une norme vectorielle. La distance entre deux vecteurs repose sur les espaces métriques (distance).

L'aspect morphologique de l'être humain lui a permis d'acquérir une certaine forme de sécurité en diminuant considérablement l'intrusion lors des accès physique ou virtuel à une session locale ou distante. Parmi ces aspects morphologiques, on cite l'aspect visage, empreinte digitale, Iris, forme de la main, etc. où chaque type de modalité trouve son secteur de contrôle d'accès approprié. Le développement de techniques de reconnaissance d'individus, utilisant une modalité biométrique, est arrivée à sa limite, par contre, l'exploitation de plusieurs modalités (multimodalité) est en constante expansion.

Deux types de scénarios pour le contrôle d'accès existent : l'intrusive et la non-intrusive. Intrusive dans le sens où le contact personne-machine ou système de reconnaissance est inévitable comme la forme et les nervures de la main (palme). Par contre, non-intrusive dans le sens où le contact direct n'est pas nécessaire, à savoir la vision numérique.

2 Espace de travail

La collection d'information est régie par tout un concept à travers lequel on peut faire des mesures, on peut les quantifier, leur donner un aspect de vecteurs, leur associer une direction, et pouvoir mesurer la distance entre eux deux à deux, etc.

L'espace dans lequel on travaille, est celui de l'espace de Hilbert. Qui appartient lui-même à l'espace vectoriel linéaire où les axiomes de Kolmogorov sont utilisés ainsi que les conditions de base pour qu'un ensemble fini appartienne à l'espace vectoriel soit vérifié, citons la commutativité, l'associativité, l'élément neutre et d'autres propriétés. L'un d'eux est l'espace métrique pour pouvoir faire des mesures. L'espace de Hilbert est un espace complet séparable. La projection d'un espace appartenant à l'espace de Hilbert vers un sous-espace appartient lui-même à l'espace de Hilbert. Cette séparabilité fait ressortir la notion de vecteurs bases pour pouvoir représenter les vecteurs. En plus de la notion de vecteur base, il y'a la notion de produit scalaire, à travers lequel on peut quantifier la norme du vecteur.

Le but recherché par l'introduction de cet espace de travail, est le théorème de l'unicité de la projection. Ce théorème stipule que la projection d'un espace de Hilbert vers un sous-espace de Hilbert est unique [9]. Cette unicité associée à la séparabilité de l'espace de Hilbert n'est réalisable que si les vecteurs bases sont orthogonaux deux à deux, et l'on dit que la projection est orthogonale. Pour la conservation de la notion de distance dans les deux espaces, les bases de projection doivent être normalisées, d'où l'espace de projection à norme unitaire connu comme de transformation ou de projection orthonormale.

3 Espace score

Par le biais de l'espace de travail mentionné ci-dessus dans la Section 2 et à partir des données biométriques capturées, on construit ce qu'on appelle une classe, ensemble de vecteurs caractéristiques qui se distinguent par la non-redondance de l'information. Après avoir construit les classes au nombre de deux ou multi-classes, une fonction de discrimination est attribuée à cet ensemble pour discriminer ou encore pour pouvoir associer des données tests à une classe appropriée. Il est connu que le choix de la fonction de discrimination est cruciale pour qu'elle soit efficace. Ce choix dépend essentiellement des caractéristiques des vecteurs formant la classe. En effet, si la fonction de discrimination est basée sur la vraisemblance, pour que cette dernière soit efficace, les vecteurs caractéristiques doivent avoir les

informations statistiques du premier ordre (moyenne) et du second ordre (variance).

À partir de cette fonction de discrimination, des scores sont générés. Un score est un scalaire, représentant la quantification numérique de la réaction du système biométrique à la demande d'authentification. À partir de ces scores, une règle de décision est appliquée (oui ou non, vraie ou faux, client ou imposteur).

4 Fusion de systèmes biométriques

4.1 Introduction

De nos jours, les systèmes à reconnaissance biométrique sont assez nombreux et sont déclarés plus ou moins fiables, mais les critères de performance de ces derniers ne sont pas les seuls à prendre en compte les critères de coûts et d'acceptation par le public. Ainsi, selon les situations d'usage et les buts recherchés, chaque biométrie possède ses points forts ainsi que ses points faibles.

La multimodalité est une solution pour tenter de pallier ce problème du fait qu'à chaque modalité peut être associé un classificateur fournissant un score qui décidera de l'acceptation ou non d'une personne lors du processus de reconnaissance. En effet, l'utilisation de plusieurs systèmes a pour but premier d'améliorer les performances de reconnaissance. En augmentant la quantité d'informations discriminantes de chaque personne, on souhaite augmenter le pouvoir de reconnaissance du système. De plus, le fait d'utiliser plusieurs modalités biométriques réduit le risque d'impossibilité d'enregistrement ainsi que la non-robustesse aux fraudes. Le problème est alors de définir des stratégies pour combiner ces scores de décision considérés indépendants [10].

4.2 Les différents systèmes multimodaux

Les systèmes biométriques multimodaux diminuent les contraintes des systèmes biométriques monomodaux en combinant plusieurs systèmes [10]. On peut différencier 5 types selon les systèmes qu'ils combinent.

4.2.1 Les systèmes multi-capteurs

Dans ces systèmes, un même trait biométrique est analysé à l'aide de plusieurs capteurs afin d'extraire diverses informations provenant de l'enregistrement des images. Par exemple, un système peut enregistrer le contenu de la texture 2D du visage d'une personne avec une caméra CCD et la forme de la surface 3D du visage avec une autre gamme de capteurs (Kinect) dans le but de procéder à la reconnaissance.

4.2.2 Les systèmes multi-instances

Ces systèmes utilisent tout simplement plusieurs instances d'un même trait biométrique. Par exemple l'acquisition de plusieurs images de visage avec des changements de pose, d'expression ou d'illumination peut être utilisée afin de vérifier l'identité d'une personne. Ces systèmes ne nécessitent généralement pas l'introduction de nouveaux capteurs, pas plus qu'ils n'entraînent le développement de nouveaux algorithmes d'extraction de caractéristiques ou de reconnaissance et sont, par conséquent, rentables.

4.2.3 Les systèmes multi-algorithmes

Dans ces systèmes, les mêmes données biométriques sont traitées à travers plusieurs algorithmes. Cette multiplicité d'algorithmes peut intervenir dans le module d'extraction en considérant plusieurs ensembles de caractéristiques et/ou dans le module de comparaison.

4.2.4 Les systèmes multi-échantillons

Un unique capteur peut être utilisé pour acquérir plusieurs échantillons du même trait biométrique dans le but de prendre en compte les variations qui peuvent se produire au sein de ce trait, ou pour obtenir une représentation plus complète du caractère sous-jacent. Par exemple, un système de reconnaissance faciale peut capturer (et enregistrer) le profil frontal du visage d'une personne ainsi que les profils gauches et droits afin de tenir compte des variations de la pose faciale. Dans ce cas les données sont traitées par le même algorithme mais nécessitent des références différentes à l'enregistrement contrairement aux systèmes multi-instances qui ne nécessitent qu'une seule référence.

4.2.5 Les systèmes multi-biométries

Au sens strict du terme, ces systèmes vont particulièrement attirer toute notre attention car ils permettent de combiner les preuves présentées par différentes modalités biométriques afin d'établir l'identité d'un individu. Par exemple, l'un des premiers systèmes biométriques multimodaux utilise les caractéristiques à la fois du visage [11][12][13][14][15][16] et de la voix [17][18][19]. On s'attend à ce que des traits biométriques décorrélés (comme les empreintes digitales et l'iris [20]) fournissent une nette amélioration de la performance d'un système que des traits biométriques corrélés (comme la voix et les mouvements des lèvres). Le coût de déploiement de ce genre de systèmes est plus élevé dû à l'introduction de nouveaux capteurs ainsi, qu'au développement d'interfaces utilisateur appropriées.

La précision en reconnaissance peut significativement être améliorée en utilisant un nombre croissant de traits biométriques [20], bien que le phénomène problématique de la dimensionnalité grandissante devrait imposer une limite à ce nombre. Ce problème limite le nombre d'attributs utilisés dans un système de classification de formes lorsque l'on possède seulement un faible nombre d'échantillons d'entraînement.

Le nombre de traits biométriques utilisés dans une application spécifique est également limité par des considérations pratiques comme le coût de déploiement, le temps d'enrôlement, le temps de retour ou encore le taux d'erreur attendu.

Tous ces types de systèmes peuvent pallier à des problèmes différents et ont chacun leurs avantages et leurs inconvénients. Les quatre premiers systèmes combinent des informations issues d'une seule et même modalité ce qui ne permet pas de traiter le problème de la non-universalité de certaines biométries ainsi que la résistance aux fraudes, contrairement aux systèmes "multi-biométries".

En effet, les systèmes combinant plusieurs informations issues de la même biométrie permettent d'améliorer les performances en reconnaissance en réduisant l'effet de la variabilité intra-classe. Mais ils ne permettent pas de traiter efficacement tous les problèmes des systèmes monomodaux. C'est pour cette raison que les systèmes multi-biométries ont reçu beaucoup d'attention de la part des chercheurs.

De plus, le gain en performance correspondant à un système multi-biométrique est affecté par la corrélation entre les scores issus des différents comparateurs biométriques. Ainsi la combinaison de deux faibles comparateurs biométriques qui ne sont pas corrélés peut entraîner une amélioration des performances plus importante que celle obtenue par la com-

binaison de deux forts comparateurs biométriques positivement corrélés.

4.3 Les différents niveaux de fusion biométrique

La combinaison de plusieurs systèmes biométriques peut se faire à quatre niveaux différents : au niveau des données, au niveau des caractéristiques extraites, au niveau des scores issus du module de comparaison ou au niveau des décisions.

Ces quatre niveaux de fusion peuvent être classés en deux sous-ensembles : la fusion pré-classification (avant correspondance) et la fusion post-classification (après la correspondance) [10].

4.3.1 Fusion avant la correspondance (matching)

Avant le matching, l'intégration d'informations peut avoir lieu soit au niveau capteur, soit au niveau caractéristique.

a- Fusion au niveau des capteurs (Sensor Level)

Les données brutes (raw data) provenant des capteurs sont combinées par fusion aux niveaux capteurs. La fusion au niveau capteur peut se faire uniquement si les diverses captures sont des instances du même trait biométrique obtenu à partir de plusieurs capteurs compatibles entre eux ou plusieurs instances du même trait biométrique obtenues à partir d'un seul capteur. De plus, les captures doivent être compatibles entre elles et la correspondance entre les points dans les données brutes doit être connue par avance.

Par exemple, les images de visage obtenues à partir de plusieurs caméras peuvent être combinées pour former un modèle 3D du visage. La fusion au niveau capteur n'est généralement pas possible si les instances des données sont incompatibles. Il est déconseillé de fusionner des images de visages provenant de caméras ayant des résolutions différentes.

b- Fusion au niveau des caractéristiques (Feature Level)

La fusion au niveau caractéristiques consiste à combiner différents vecteurs de caractéristiques qui sont obtenus à partir d'une des sources suivantes [20] : plusieurs capteurs du même trait biométrique, plusieurs instances du même trait biométrique, plusieurs unités du même trait biométrique ou encore plusieurs traits biométriques. Quand les vecteurs de caractéristiques sont homogènes, un vecteur de caractéristiques unique résultant peut être calculé comme une somme pondérée des vecteurs de caractéristiques individuels [21][22]. Lorsque les vecteurs de caractéristiques sont hétérogènes nous pouvons les concaténer pour former un seul vec-

teur de caractéristiques. Cependant, la concaténation n'est pas possible lorsque les ensembles de caractéristiques sont incompatibles. Les systèmes biométriques qui intègrent l'information à une étape en amont du traitement sont censés être plus efficaces que les systèmes qui opèrent une fusion à un niveau plus abstrait. Puisque les caractéristiques issues d'une entrée biométrique sont supposées contenir une information plus riche qu'un score de correspondance ou la décision d'un module de reconnaissance biométrique, la fusion au niveau caractéristiques devrait fournir de meilleurs résultats de reconnaissance que les autres niveaux suivants d'intégration. Cependant, la fusion aux niveaux caractéristiques est difficile à atteindre en pratique et ceci pour les raisons suivantes :

- La relation entre les espaces de caractéristiques de différents systèmes biométriques n'est pas forcément connue. Dans le cas où la relation est connue en avance, on doit prendre soin d'éliminer les caractéristiques qui sont fortement corrélées. Cela requiert l'application d'algorithmes de sélection de caractéristiques avant l'étape de classification.

- La concaténation de deux vecteurs de caractéristiques peut engendrer un vecteur de caractéristiques ayant une grande dimension. Bien que ce soit un problème général dans la plupart des applications de reconnaissance de forme, cela est encore plus marquant dans les applications biométriques à cause du temps, de l'effort et du coût impliqués dans la collecte de grandes quantités de données biométriques.

- La plupart des systèmes biométriques commerciaux ne fournissent pas l'accès aux vecteurs de caractéristiques qui sont utilisés dans leurs produits. Ainsi, très peu de chercheurs ont étudié la fusion au niveau caractéristique et la plupart d'entre eux se tournent généralement vers les schémas de fusion après le matching.

4.3.2 Fusion après la correspondance

Les schémas d'intégration de l'information après l'étape de la classification ou de correspondance peuvent être divisés en trois catégories : fusion au niveau décision, fusion au niveau rang et fusion au niveau score.

a- Fusion au niveau des décisions (Decision Level)

L'intégration d'information au niveau abstrait ou au niveau décision peut être mise en place lorsque chaque matcher (module de reconnaissance) biométrique décide individuellement de la meilleure correspondance possible selon l'entrée qui lui est présentée.

La fusion au niveau des décisions est souvent utilisée pour sa simplicité. En effet, chaque

système fournit une décision binaire sous la forme OUI ou NON que l'on peut représenter par 0 et 1, et le système de fusion de décisions consiste à prendre une décision finale en fonction de cette série de 0 et de 1. Ces méthodes de fusion au niveau des décisions sont très simples mais utilisent très peu d'information.

b- Fusion au niveau des rangs (Rank Level)

Quand la sortie de chaque matcher biométrique est un sous-ensemble de correspondances possibles triées dans un ordre décroissant de confiance, la fusion peut se faire au niveau rang. Trois méthodes existent pour combiner les rangs assignés par différents matchers. Dans la technique highest rank method, on assigne à chaque correspondance possible le meilleur (minimum) rang calculé par différents matchers. En cas d'égalité, on en retient un seul au hasard afin d'arriver à un ordre de rang strict et la décision finale est prise selon les rangs combinés. La méthode ancienne "Borda count" ou système de vote pondéré, utilise la somme des rangs assignés par les matchers individuels afin de calculer les rangs combinés. La méthode de régression logistique qui suit la loi de Bernouilli, est une généralisation de la méthode Borda count où une somme pondérée des rangs individuels est calculée et les poids sont déterminés par régression logistique.

c- Fusion au niveau score (Score Level)

Après la détermination des vecteurs de caractéristiques, les scores (de correspondance) donnés en sortie par les matchers contiennent l'information la plus riche à propos du modèle d'entrée. En fait, la fusion au niveau score donne le meilleur compromis entre la richesse d'information et la facilité d'implémentation [23][24][25]. Aussi, il est relativement facile d'accéder et de combiner les scores générés par les différents matchers [26][27][28]. En conséquence, l'intégration d'information au niveau score est l'approche la plus courante dans les systèmes biométriques multimodaux. Il existe deux approches pour combiner les scores obtenus par différents matchers.

La première approche est de voir cela comme un problème de classification, tandis que l'autre approche est de traiter le sujet comme un problème de combinaison. Il est important de noter que les approches par combinaison sont plus performantes que la plupart des méthodes de classification. Dans l'approche par classification, un vecteur de caractéristiques est construit en utilisant les scores de correspondance donnés en sortie par les matchers individuels ; ce vecteur est ensuite attribué à une des deux classes : "accepté" (utilisateur authentique ou genuine user) ou "rejeté" (utilisateur imposteur ou impostor user). En général,

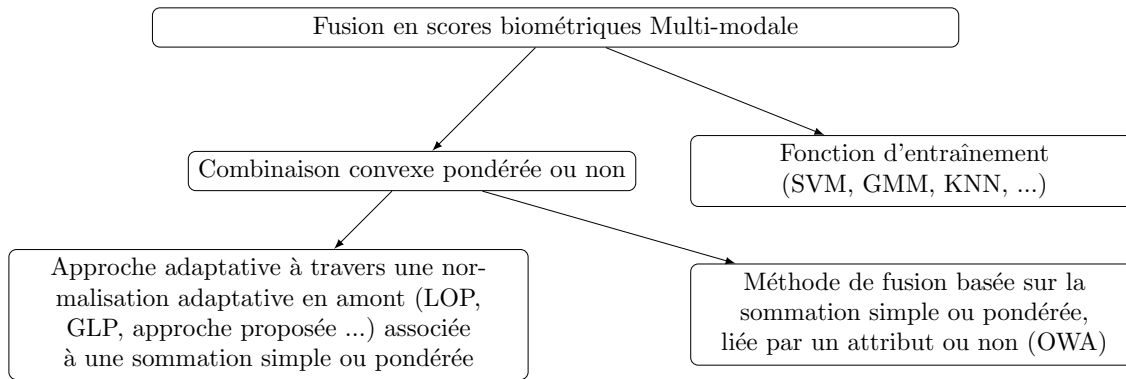


Figure 1.1 – Principaux groupes d’approches de fusion en scores d’un système biométrique multimodal

le classificateur utilisé pour cette opération est capable d’apprendre la frontière de décision sans tenir compte de la manière dont le vecteur de caractéristiques a été généré. Ainsi, les scores en sortie de différentes modalités peuvent être non-homogènes (mesure de distance ou de similarité, différents intervalles de valeurs prises, etc.) et aucun traitement n’est requis avant de les envoyer dans le classificateur.

Dans l’approche par combinaison, les scores de correspondance individuels sont combinés de manière à former un score unique qui est ensuite utilisé pour prendre la décision finale. Afin de s’assurer que la combinaison de scores provenant de différentes modalités soit cohérente, les scores doivent d’abord être transformés dans un domaine commun : on parle alors de normalisation de score.

4.4 Méthodes de fusion des scores

À partir de la Figure 1.1, ci-dessus, on peut voir principalement deux classes d’approche de fusion en score. La première, les approches simples allant de l’opérateur Minimum à l’opérateur sommation pondérée [29]. La deuxième classe repose sur des approches classificateurs comme les SVM, les GMM et autres. Pour les différents opérateurs de fusion cités ci-dessous, on donne S_i^m le score fourni par le $m^{\text{ème}}$ classificateur pour l’ $i^{\text{ème}}$ test et S_{fusion}^i le score résultant de la fusion.

a- Min-Score (Min)

$$S_{fusion}^i = \text{Min}(S_i^1, S_i^2, \dots, S_i^M), \quad \forall i \quad (1.1)$$

b- Max-Score (Max)

$$S_{fusion}^i = Max(S_i^1, S_i^2, \dots, S_i^M), \quad \forall i \quad (1.2)$$

c- Simple-Somme (Som-Simple)

$$S_{fusion}^i = \sum_{j=1}^M S_i^j, \quad \forall i \quad (1.3)$$

d- Somme-pondérée (Weighted-Som)

$$S_{fusion}^i = \sum_{j=1}^M W_j S_i^j, \quad \forall i \quad \& \quad \sum_{j=1}^M W_j = 1, \quad (1.4)$$

5 Normalisation de l'espace score

Une normalisation ou une mise à l'échelle suivant une certaine méthodologie (à l'échelle score ou à l'échelle des statistiques), on y trouve principalement deux types d'approches de normalisation de score. L'une est globale et la seconde est locale. Pour ce qui concerne la normalisation de type globale, on cite les opérateurs suivant [29] : Mean, Max-Min, Tanh, QQ, Zscore, etc. Par contre, la normalisation locale est basées principalement sur les opérateurs dépendant des statistiques des utilisateurs, encore appelée normalisation d'utilisateur-spécifique [20][27] comme F-norm, Z-norm, T-norm, etc. La différence majeure entre les deux types de normalisation est dans le fait que la première n'est qu'une mise à l'échelle où l'apport au système côté amélioration ne peut être ressenti réellement que lorsque cette normalisation est accompagnée d'une fusion. Par contre, le deuxième type de normalisation voit une amélioration sans qu'il y soit nécessairement une fusion en aval.

Les méthodes de normalisation de scores ont pour objectif de transformer individuellement chacun des scores issus des sous-systèmes pour les rendre homogènes avant de les combiner. En effet, trois problèmes importants ont besoin d'être considérés avant même de combiner les scores de correspondance en un seul et unique score.

Tout d'abord, les scores de correspondance au niveau des sorties des matchers individuels peuvent ne pas être homogènes. Un matcher peut donner en sortie une mesure de distance (dissimilarité) pendant qu'un autre donne en sortie une mesure de proximité (similarité). Ensuite, les sorties des matchers individuels ne sont pas nécessairement incluses

dans le même intervalle. Enfin, les scores de correspondance en sortie des matchers peuvent suivre différentes distributions statistiques. Pour toutes ces raisons, la normalisation de score est essentielle pour transformer les scores des matchers individuels dans un domaine commun avant de les combiner. La normalisation de score est donc une étape critique dans la conception d'un schéma de combinaison pour la fusion au niveau score [10].

5.1 Identification de techniques de normalisation de scores

La normalisation de score consiste à changer les paramètres de position (moyenne) et d'échelle (écart-type) des distributions de scores de correspondance en sortie des matchers individuels, de manière à ce que les scores de correspondance soient transformés dans un domaine commun. Quand les paramètres utilisés pour la normalisation sont déterminés en utilisant un ensemble de données d'entraînement fixé, on parle de normalisation de score fixée. Dans ce cas, la distribution des scores de correspondance de l'ensemble des données d'entraînement est examinée et un modèle cohérent est choisi pour s'adapter à la distribution. A partir de ce modèle, les paramètres de normalisation sont déterminés. Dans la normalisation de score adaptative, les paramètres de normalisation sont estimés en se basant sur le vecteur de caractéristiques actuel. Cette approche a la faculté de s'adapter aux variations de la donnée en entrée (voir Figure 1.2) [30].

Pour avoir un bon schéma de normalisation, les estimateurs des paramètres de position et d'échelle de la distribution de score de correspondance doivent être robustes et efficaces. La robustesse se réfère à l'insensibilité à la présence de valeurs aberrantes ou outliers ; quand à l'efficacité, elle se réfère à la proximité de l'estimateur obtenu par rapport à l'estimateur optimal lorsque la distribution des données est connue. Finalement, bien que de nombreuses techniques puissent être utilisées pour la normalisation de score, le défi réside dans l'identification d'une technique qui serait à la fois robuste et efficace.

5.2 Les différentes techniques de normalisation de scores

5.2.1 Normalisation des scores par remise à l'échelle [29]

a- Min-Max

C'est la plus adaptée dans le cas où les bornes des scores produits par un matchers sont connues. Dans ce cas, on peut facilement translater les scores minimums et maximums res-

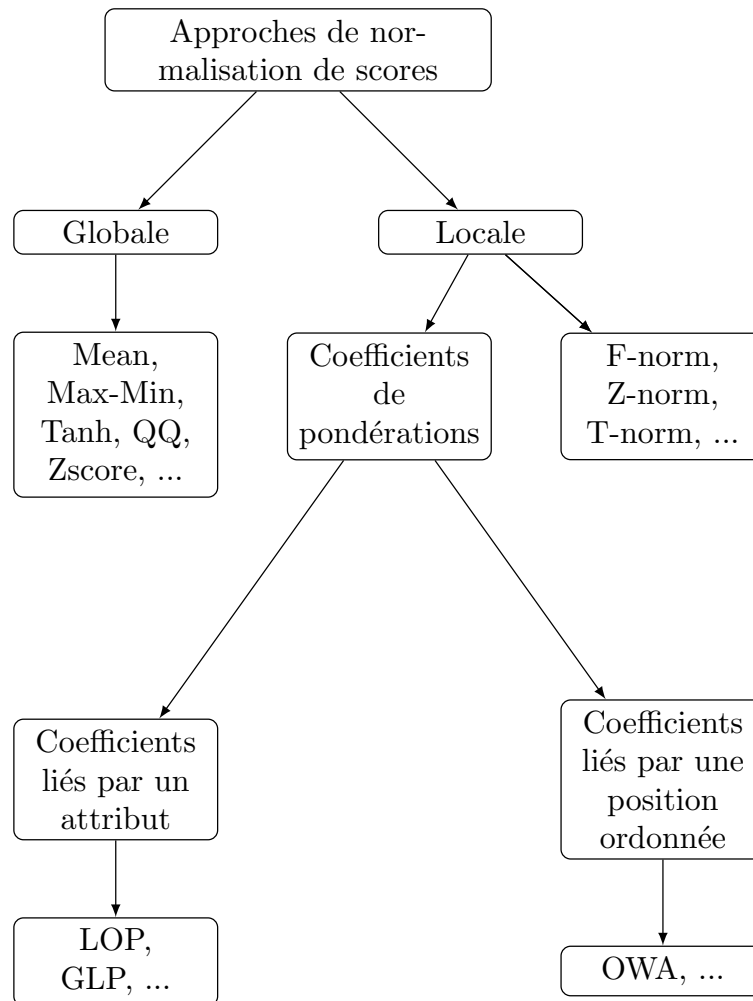


Figure 1.2 – Les principaux types d’approches de normalisation de score pour un système biométrique.

pectivement vers 0 et 1. Cependant, même si les scores de correspondance ne sont pas bornés, on peut estimer les valeurs minimales et maximales pour un jeu de scores de correspondance donné et appliquer ensuite la normalisation Min-Max. Cette méthode place donc les scores dans l’intervalle [0,1] tel que :

$$n_i = \frac{S_i - \min_i}{\max_i - \min_i}, \quad (1.5)$$

Les paramètres \min_i et \max_i sont déterminés pour chaque sous-système sur une base de développement. La méthode du Min-Max met chaque score normalisé n_i dans l’intervalle [0,1] sous forme de score de similarité, c’est-à-dire, avec les clients proches de la borne supérieure (1) et les imposteurs proches de la borne inférieure (0). Les valeurs minimales et maximales sont estimées à partir du jeu d’entraînement de scores donné, ce qui explique que cette méthode ne soit pas robuste et engendre un risque de débordement de données dans la

phase opérationnelle du système si l'un des scores dépasse le maximum (ou soit inférieur au minimum). La normalisation Min-Max conserve la distribution de scores originale à un facteur d'échelle près et transforme tous les scores dans l'intervalle [0,1]. Les scores relatifs à des mesures de distance peuvent être transformés en des scores de similarité en soustrayant le score normalisé à 1.

b- Z-Score

La technique de normalisation de score la plus employée est certainement la Z-Score qui utilise la moyenne arithmétique et l'écart-type des données. On peut s'attendre à ce que cette méthode fonctionne bien si on a une connaissance a priori du score moyen et des variations de score d'un matcher. Si on n'a pas de connaissance a priori sur la nature de l'algorithme de reconnaissance, nous devons alors estimer la moyenne et l'écart-type des scores à partir d'un jeu de scores de correspondance donné. Les scores normalisés sont donnés par :

$$n_i = \frac{s_i - \mu_i}{\sigma_i}, \quad (1.6)$$

Les paramètres μ_i et σ_i (respectivement la moyenne et l'écart-type des scores) sont déterminés pour chaque sous-système sur une base de développement.

La normalisation "Z-score" consiste à centrer la distribution des scores en 0 et à en réduire la variance à 1. Les scores Client seront plutôt positifs et les scores Imposteur plutôt négatifs. L'effet produit par la normalisation "Z-score" ressemble à celui produit par la méthode du Min-Max car il s'agit d'une translation et d'un changement d'échelle, mais avec cette méthode, les scores sont centrés en 0 et ne sont pas bornés.

Cependant, la moyenne et l'écart-type sont tous les deux sensibles aux valeurs aberrantes et donc cette méthode n'est pas robuste. De plus, la normalisation Z-Score ne garantit pas un intervalle commun pour les scores normalisés provenant de différents matchers. Si la distribution des scores n'est pas gaussienne, la normalisation Z-Score ne conserve pas la distribution d'entrée en sortie. Cela est simplement dû au fait que la moyenne et l'écart-type sont les paramètres de position et d'échelle optimaux seulement pour une distribution gaussienne. Pour une distribution arbitraire, la moyenne et l'écart-type sont respectivement des estimateurs raisonnables de position et d'échelle, mais ne sont pas optimaux

c- Tanh

Les estimateurs Tanh (pour tangente hyperbolique), introduits par Hampel [31], sont robustes et très efficaces. Ils rangent les scores n_i dans l'intervalle [0,1] via la normalisation

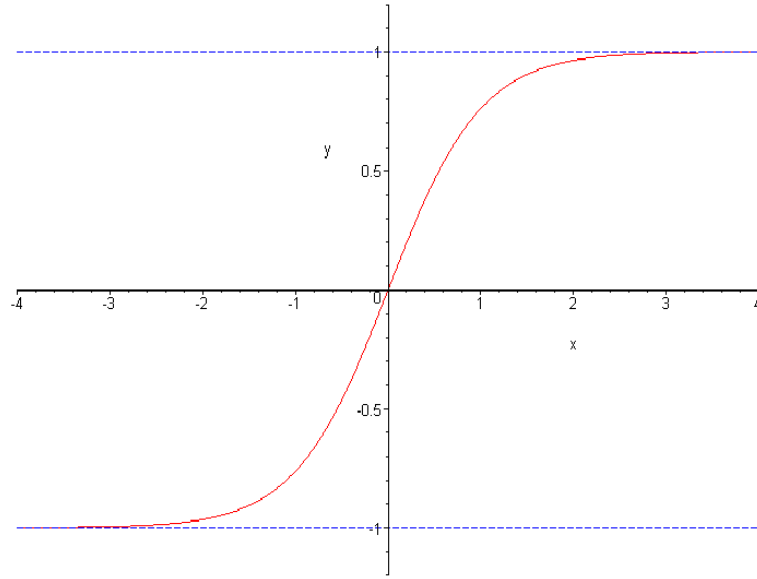


Figure 1.3 – La fonction tangente hyperbolique.

donnée par :

$$n_i = 1/2 \tanh\left[\left(0.001 \frac{(s_i - \mu_i)}{\sigma_i}\right) + 1\right], \quad (1.7)$$

Les paramètres μ_i et σ_i sont respectivement les estimateurs de la moyenne et de l'écart-type de la distribution des scores authentiques, tels qu'ils sont donnés par les estimateurs de Hampel. Ces derniers sont basés sur la fonction d'influence ψ suivante :

$$\psi(\mu_i) = \begin{cases} \mu_i & 0 \leq (\mu_i) < a \\ a \operatorname{sign}(\mu_i) & a \leq (\mu_i) < b \\ a \operatorname{sign}(\mu_i) \frac{c - (\mu_i)}{c - b} & b \leq (\mu_i) < c \\ 0 & \text{ailleurs} \end{cases} \quad (1.8)$$

Cette dernière réduit l'influence des points aux extrémités d'une distribution (identifiés par a, b et c) pendant l'estimation des paramètres de position et d'échelle. Ainsi, cette méthode n'est pas sensible aux valeurs aberrantes. Si plusieurs points constituant une extrémité d'une distribution ne sont plus pris en compte, l'estimateur est robuste mais pas efficace (optimal). De plus, si tous les points constituant l'extrémité d'une distribution sont considérés, l'estimateur n'est pas robuste mais son efficacité augmente. Par conséquent, les paramètres, a et b doivent être soigneusement choisis selon le degré de robustesse exigé, ce qui dépend alternativement de l'évaluation de la quantité de bruit dans l'ensemble des données d'entraînement disponible (voir Figure 1.3 et Figure 1.4).

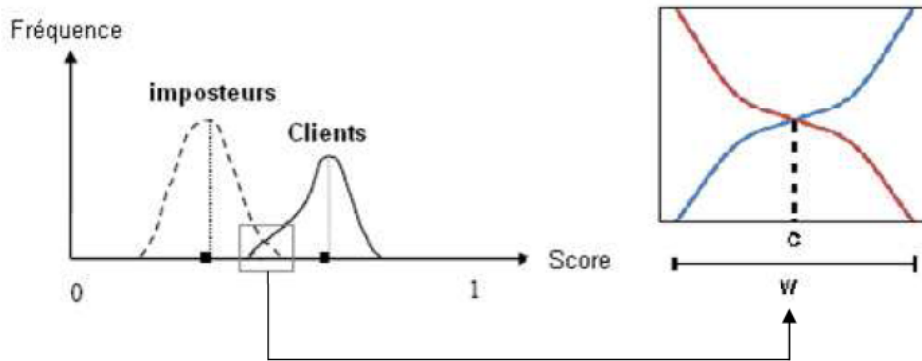


Figure 1.4 – L’intervalle d’incertitude existant entre les deux distributions, clients et imposteurs.

La région de chevauchement et d’incertitude a pour largeur w tel que :

$$w = \max(S_{\text{imposteurs}}) - \min(S_{\text{clients}}), \quad (1.9)$$

Où $S_{\text{imposteurs}}$ représente l’ensemble des scores imposteurs tandis que S_{clients} représente l’ensemble des scores clients. Afin de minimiser au mieux l’influence de cette région sur l’algorithme de fusion, une normalisation dite adaptative a vu le jour dans le but de séparer au maximum les deux distributions tout en gardant les valeurs dans l’intervalle $[0,1]$. Pour ce faire, il existe une fonction dédiée à la normalisation des scores dans ce cas précis :

d- double quadratique(QQ)

A partir de la Figure 1.5, la fonction double quadratique (QQ) est constituée de deux segments quadratiques qui changent de cavité au point C, normalise les scores par la formulation suivante :

$$n_{AD} = \begin{cases} \frac{1}{c} n_{MM}^2 & n_{MM} \leq c \\ c + \sqrt{(1-c)(n_{MM})} & \text{sinon} \end{cases} \quad (1.10)$$

5.3 Normalisation des scores par interprétation

Ces méthodes de normalisation sont basées sur l’estimation des densités de probabilité des deux classes, Client et Imposteur. Dans une première partie nous expliquerons comment l’estimation de densités permet de normaliser les scores dans un espace commun par l’intermédiaire de critères tels que les probabilités a posteriori ou le rapport de vraisemblance.

Les normalisations de scores par remise à l’échelle ne traitent pas le problème des

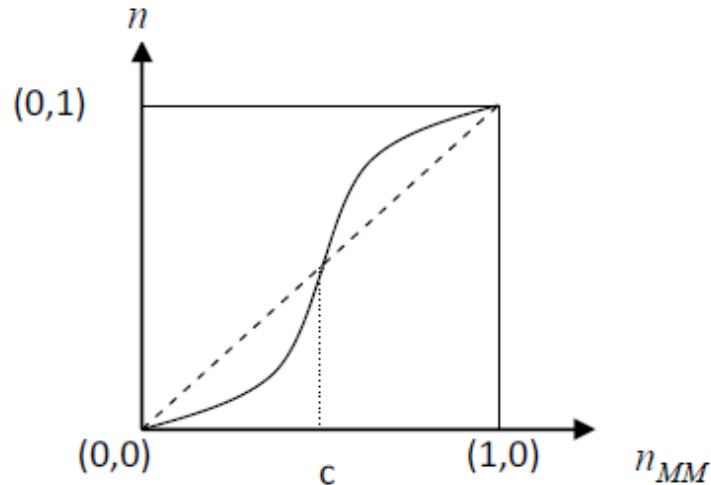


Figure 1.5 – Fonction de mapping de la méthode de normalisation QQ

différences de nature entre les distributions des différents sous-systèmes. Si on combine les scores (normalisés par la méthode Min-Max), les résultats ne seront pas bons car les deux distributions ont des allures très différentes. Le Système 1 a une classe Client peut être très étendue et une classe Imposteur très piquée, alors que le Système 2 a des classes de variances et de formes environ équivalentes après normalisation Min-Max. Le but des méthodes de normalisation de scores par interprétation basée sur l'estimation est donc de prendre en compte les différences de nature entre les densités de deux systèmes avant de les combiner.

Les méthodes les plus utilisées pour interpréter les scores utilisent une estimation des distributions des deux classes. Elles transforment ensuite le score final en probabilité a posteriori d'appartenance à une classe ou en rapport de vraisemblance [32]. Transformer les scores issus de chaque système monomodal en probabilités a posteriori, avant de les fusionner, permet de se rapporter à la théorie de la décision Bayésienne [33] [7] [34] qui stipule que pour un problème de classification à M classes d'un élément x , l'élément doit être assigné à la classe C_k avec $k \in [1, \dots, M]$ qui maximise la probabilité a posteriori d'appartenance $p(C_k|x)$, c'est-à-dire :

$$x \in C_k \quad \text{si} \quad p(C_k|x) \geq p(C_i|x) \quad \text{pour} \quad i = 1, \dots, M \quad (1.11)$$

Pour pouvoir se ramener une décision Bayésienne il faut donc transformer les scores en probabilités a posteriori. Dans le cas d'une normalisation de chaque score issu des systèmes monomodaux avant de le combiner, il s'agit de transformer chaque score S_i issus des N systèmes monomodaux en probabilités a posteriori d'appartenance à la classe des clients

$p(C|S_i)$, et d'appartenance à la classe des imposteurs $p(I|S_i)$.

Les probabilités a posteriori d'appartenance aux deux classes client et imposteur, sont estimées grâce à la règle de Bayes. Par exemple pour la probabilité a posteriori d'appartenance à la classe des Clients :

$$p(C|x) = \frac{p(C)p(x|C)}{p(x)} = \frac{p(C)p(x|C)}{p(C)p(x|C)+p(I)p(x|I)} \quad (1.12)$$

Où $p(C)$ et $p(I)$ sont les probabilités a priori des deux classes, respectivement Client et Imposteur. On a les densités de probabilités $p(x|C)$ et $p(x|I)$ de la variable x conditionnellement aux deux classes, respectivement Client et Imposteur. Pour suivre la théorie Bayésienne de décision dans notre problème à deux classes, Client et Imposteur, le score issu de chaque système devrait être transformé en quotient des deux probabilités a posteriori tel que [35] [33] :

$$S_i = \frac{p(C|S_i)}{p(I|S_i)} \quad (1.13)$$

L'utilisateur est donc accepté comme étant un client si : $S_i \geq 1$

La transformation de chaque score issu des systèmes monomodaux en probabilités a posteriori (ou en rapport de vraisemblance, ce qui est équivalent) a pour but de donner un sens à leur fusion. La méthode de fusion qui vient naturellement lorsque l'on manipule des probabilités est le produit [36].

En effet, le but de la fusion est de prendre une décision non plus sur un score mais sur un vecteur de scores à N dimensions si il y a N systèmes monomodaux. Prendre la décision selon la théorie Bayésienne revient à considérer les probabilités a posteriori des deux classes sachant le vecteur à N dimensions, c'est à dire : $p(C|S_1, S_2, \dots, S_N)$ [37]. Dans le cas des méthodes de fusion, chaque score est traité séparément avant d'être combiné. Le fait de les traiter séparément consiste à faire une hypothèse d'indépendance des différents scores S_i . Cette hypothèse d'indépendance se traduit en terme de probabilité par :

$$p(C|S_1, \dots, S_N) = \prod p(C|S_i)_{i=1}^N \quad (1.14)$$

On voit donc apparaître la méthode de fusion par le produit. En effet si l'on considère les probabilités a posteriori ou leur quotient comme scores normalisés, le produit des scores issus de cette normalisation sera une estimation des probabilités a posteriori du vecteur de

N scores sous l'hypothèse d'indépendance. Mais le produit pose un problème pratique car il est très sensible aux erreurs d'estimations des probabilités et en particulier à une valeur égale à 0 produit un effet non compensable par les autres systèmes. La fusion par la somme des probabilités (ou leur moyenne) est beaucoup moins sensible aux erreurs d'estimation des probabilités et est souvent préférée pour la fusion des probabilités.

6 Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté des définitions et notions théoriques de base allant de l'espace de travail aux différentes techniques de fusion des scores incluant l'étape de normalisation. Cette dernière précédant la fusion a prouvé son efficacité dans l'amélioration des performances des systèmes biométriques, mais les limitations en performance persistent. De ce fait, on a proposé de nouvelles approches de normalisations, basées sur la théorie d'agrégation, sujet traité dans le chapitre suivant.

CHAPITRE 2

Agrégation partielle des utilisateurs pour la normalisation de score biométrique d'un système monomodal ou de fusion multimodale

1 Introduction

La nécessité d'une gestion infaillible en matière de contrôle d'accès biométrique incite les chercheurs à développer des approches plus performantes. Parmi ces stratégies, on y trouve celles exploitant les scores des usagers afin de réduire la probabilité d'erreur d'une fausse classification. Chaque utilisateur, en fonction de la qualité de l'information disponible à son niveau, rend sa position plus ancrée ou plus faible dans la décision globale. Par conséquent, l'algorithme de correspondance peut rejeter une personne, de plus faible authenticité, en la considérant comme un imposteur et accepte l'imposteur comme un véritable client. L'aptitude de l'imposteur à contrer le système de contrôle d'accès est accentuée par la capacité de cet intrus à s'emparer des identités différentes et agir comme un caméléon, adaptant ainsi son comportement en fonction de l'environnement. Cette capacité à voler l'identité des autres reflète la faiblesse de ce dont l'identité a été accaparée. Dans la classification, des investigations ont été menées pour étudier comment la règle de correspondance marque le comportement de l'utilisateur. Cela caractérise ce qu'on appelle la ménagerie biométrique ou le zoo biométrique [38] [39] [40] [41].

Dans tout système biométrique, la normalisation des scores est un challenge, soit, en impliquant une ou plusieurs modalités. Dans la littérature, on y trouve au moins deux classes d'algorithmes consacrées à la normalisation des scores, plus précisément (i) les algorithmes opérant indépendamment de l'identité revendiquée (parfois dénommée techniques générales ou globales) [42] [29] [43] (ii) les approches nouvellement ciblées par la recherche (appelés aussi les méthodes utilisateur-spécifiques ou utilisateur-dépendant) [44] [45] [46]. L'un des inconvénients des approches globales, qui se basent essentiellement sur la remise à l'échelle linéaire des scores, est leur sensibilité envers l'effet des valeurs aberrantes, comme pour les approches Min-Max, Z-score et autres.

Cela se traduit par l'augmentation de la variabilité des résultats de l'algorithme, ce qui entraîne la diminution de la stabilité de l'algorithme retenu. Réduire cette instabilité revient à réduire la variabilité statistique de chaque utilisateur. Cette dernière est atténuée par l'adoption de la normalisation spécifique de l'utilisateur, et par conséquent, améliore la stabilité de l'algorithme et minimise l'impact des valeurs aberrantes. On donne à titre d'exemple comme approches de normalisation spécifique de l'utilisateur la F-norm, la Z-norm et la T-norm [47] [48]. Il est reconnu que la normalisation spécifique de l'utilisateur augmente la précision de la décision pour les systèmes mono-modaux et multi-modaux, par contraste avec les algorithmes globaux, où, l'amélioration est observée que dans le scénario multimodal. L'autre motivation de l'adoption de la normalisation spécifique de l'utilisateur est qu'elle permet de contrecarrer l'effet zoo en diminuant la variabilité de l'intra-utilisateur [49], par conséquent la stabilité de l'étiquetage de la classification [50], surmonte ainsi l'impact du zoo biométrique [51].

La préoccupation majeure de ce chapitre évolue autour de l'utilisation d'agrégation spécifique à l'utilisateur du point de vue de la révision des opinions des experts, dans une stratégie de normalisation à l'échelle des scores. En fait, les mêmes questions sont rencontrées dans des applications économétriques et sociales portant sur le processus décisionnel coopératif, comme la normalisation spécifique à l'utilisateur, introduite dans ce présent chapitre. Ce problème est abordé dans un cadre probabiliste, en tant qu'agrégation partielle qui vise à rechercher l'ensemble des décisions locales représentées par les probabilités conditionnelles des utilisateurs. Nous entendons par une agrégation partielle l'absence d'un consensus total. L'objectif de l'agrégation partielle adoptée dans notre cadre de normalisation est de réduire l'impact des valeurs aberrantes en créant un certain degré de corrélation entre

les utilisateurs. Cette agrégation est simplement une approximation de la probabilité jointe du groupe décideurs. Il est à noter que l'obtention d'un modèle de cette distribution conjointe théorique est pratiquement impossible, de ce fait des fonctions d'agrégation telles que l'opérateur de regroupement (Pooling) ont été longtemps adoptées [52]. De nombreuses études ont déjà traité le problème de prise de décision de groupe dans des applications réelles, soit par choix de la décision d'approche [53] [54] [55], ou par vote (classification) [56] [57], ou encore par procédure d'agrégation [58]. Ces dernières années, il y a eu un intérêt croissant pour l'aspect applicatif d'agrégation en ingénierie comme la fusion de capteurs [59] ou la fusion de modèles [60]. Cependant, à la connaissance des auteurs, aucune publication n'est disponible dans la littérature, qui aborde l'adoption de la notion d'agrégation partielle pour la normalisation en score des utilisateurs spécifiques. Rappelons que l'agrégation des avis des experts est explorée ici dans le domaine de la biométrie, pour obtenir la révision d'opinions d'utilisateurs, ce qui diminue l'impact de ménagerie de Doddington et, par conséquent, la divergence des décisions pour une procédure de normalisation.

Cette approche s'inspire des domaines financier et social où les opinions des experts ont été présentées comme un élément-clé dans les modèles d'évaluation scientifique et en présence de paramètres mal évalué en raison du manque de données. Dans ce contexte, Cooke [61] a construit la théorie des probabilités des poids pour évaluer la qualité des opinions professionnelles. Dans cette circonstance, les spécialistes présentent leur opinion qui est formalisée mathématiquement comme étant un poids qui caractérise le niveau de confiance ou de crédibilité de l'opinion de l'expert. Ces poids qui en résultent peuvent être exploités dans la combinaison des distributions de probabilités des opinions d'experts par une procédure de normalisation [62] [63].

Ce chapitre est structuré comme suite. La section 2 est consacré au développement mathématique de l'approche proposée, et les conclusions sont données dans la Section 3.

2 Cadre mathématique

Nous pouvons représenter les scores des utilisateurs comme une quantification numérique de la réponse du système aux demandes d'authentification de l'utilisateur. Chaque utilisateur dispose d'un ensemble de scores authentiques ainsi que d'une collection de scores représentant toutes les attaques contre le système en utilisant son identité, appelés scores

d'imposeur associé. On décrit le processus d'extraction d'informations utiles à la génération de scores en passant par la classification. Compte tenu des scores authentiques et imposteurs (distingués dans les équations ci après par les exposants $\{Cl\}$ et $\{Imp\}$, respectivement) par association aux équations du (2.1) au (2.6), on définit le vecteur score pour le $i^{ème}$ usager comme :

$$S_i = \{S_i^{Cl}, S_i^{Imp}\} = \{S_i^k\}_{k=\{Cl, Imp\}}, \quad (2.1)$$

L'ensemble de paramètres d'extraction pour chaque utilisateur est :

$$X_i = \{X_i^1, X_i^2, \dots, X_i^T\}, \quad (2.2)$$

alors le processus de classification pourrait être vu comme une fonction f qui relie l'espace des caractéristiques à l'espace des scores à l'aide d'une projection métrique de dissimilarité (la vraisemblance/likelihood), comme décrite ci-dessous :

$$f : \begin{cases} \mathbb{R}^T & \longrightarrow \mathbb{R} \\ X_i & \longrightarrow S_i = f[X_i] \end{cases} \quad (2.3)$$

La performance du système de classification est fortement dépendante de la taille de l'intervalle d'incertitude résultant de la superposition des deux distributions globales, des scores clients avec celle des scores imposteurs. Cet intervalle décrit le comportement de l'instabilité de la réponse de la requête d'authentification d'accès. Le vecteur de scores clients global est exprimé comme :

$$S^{Cl} = S_1^{Cl} \hat{\wedge} S_2^{Cl} \hat{\wedge} \dots \hat{\wedge} S_{N-1}^{Cl} \hat{\wedge} S_N^{Cl} \quad (2.4)$$

Où le symbole ' $\hat{\wedge}$ ' représente la génération de vecteur global client résultant de la concaténation des vecteurs scores $\{S_i^{Cl}\}_{i=1}^N$ des utilisateurs client, N étant le nombre de clients ou des imposteurs, qui sont supposés égaux, pour une bonne compréhension de l'approche proposée.

Par analogie, le vecteur de scores imposteur global est représenté comme :

$$S^{Imp} = S_1^{Imp} \hat{\wedge} S_2^{Imp} \hat{\wedge} \dots \hat{\wedge} S_{N-1}^{Imp} \hat{\wedge} S_N^{Imp} \quad (2.5)$$

où les paramètres $\{S_i^{Imp}\}_{i=1}^N$ correspondent à des vecteurs de scores des imposteurs.

Cela implique que le vecteur global comprenant les scores clients et les scores imposteurs est défini comme :

$$S = \{S^{Cl}, S^{Imp}\} \quad (2.6)$$

Dans un système biométrique idéal, la contrainte suivante est vérifiée :

$$S_{\cap} = S^{Cl} \cap S^{Imp} = \emptyset, \quad (2.7)$$

où \emptyset désigne l'ensemble vide, et S_{\cap} correspond à l'intersection de deux zones, qui dans notre cas sont les distributions des scores clients et des imposteurs. Toutefois, dans un système pratique, la contrainte dans l'équation (2.7) pourrait être considérée comme une limite inférieure et la stratégie de normalisation vise à appliquer une fonction objective de minimisation, qui pourrait être décrite comme :

$$S_{\cap}^{optimal} = \min(S_{\cap}) \longrightarrow \max(\text{divergence}\{S^{Cl}, S^{Imp}\}) \quad (2.8)$$

Dans la section 2.1, l'accent sera mis sur les techniques de normalisation de score spécifique des usagers, où l'ensemble de clients a besoin de fortifier leurs positions et de parvenir à protéger leurs identités respectives contre les actes frauduleux des imposteurs [43] [64].

2.1 Méthode de Normalisation de Score Spécifique de l'Utilisateur (user-specific)

Très souvent, les techniques de normalisation s'appuient sur l'utilisation des statistiques des scores des utilisateurs. Dans le cadre de ce travail, trois approches de normalisation formant l'état de l'art de la normalisation de score spécifique à l'utilisateur ont été retenues pour l'étude et l'analyse comparative, à savoir la F-norm, la Z-norm et le modèle de mélange des gaussiennes (GMM) [65]. Selon le théorème central limite, en présence d'un nombre suffisant d'échantillons pour les utilisateurs, la distribution a posteriori d'un utilisateur appartenant à la classe clients ou à la classe imposteurs, peut être modélisée par une distribution gaussienne possédant des statistiques spécifiques à l'utilisateur du premier et du second ordre. Tout d'abord, la normalisation locale ou par ailleurs qualifiée de normalisation

Tableau 2.1 – Formule de normalisation spécifique à l'utilisateur

Méthodes	User-Specific S_i^{norm}
Z-norm	$\frac{S_i - \bar{S}^{Imp}}{\sigma_{S^{Imp}}}$
F-norm	$\frac{S_i - \bar{S}^{Imp}}{\alpha \bar{S}_i^{Cl} + (1-\alpha) \bar{S}^{Cl} - \bar{S}^{Imp}}$
GMM-norm	$\log P(S_i / \theta_i^{Cl}) - \log P(S_i / \theta_i^{Imp})$ with $\hat{\theta}_i^{\{Cl, Imp\}} = \underset{\theta}{\operatorname{argmax}} P(S_i^{\{Cl, Imp\}} / \theta_i^{\{Cl, Imp\}})$

de score spécifique de l'utilisateur est construite et représentée par la suite par l'opérateur T , avec T étant soit la Z-norm, la F-norm, la GMM-norm (voir Tableau 2.1) ou la technique proposée (voir la section 2.2). On peut considérer l'opération de normalisation comme étant une fonction opérante sur des vecteurs de scores origine des utilisateurs où cette fonction va leur assigner de nouveaux vecteurs scores spécifiques à l'utilisateur résultants de la concaténation de vecteurs scores des usagers, ce qui conduit à l'équation suivante :

$$T : \begin{cases} \mathbb{R}^N & \longrightarrow \mathbb{R}^N \\ S & \longrightarrow S^{norm} = T[S_1] \frown T[S_2] \frown \dots \frown T[S_{N-1}] \frown T[S_N] \\ & = S_1^{norm} \frown S_2^{norm} \frown \dots \frown S_{N-1}^{norm} \frown S_N^{norm} \end{cases} \quad (2.9)$$

Avant tout développement mathématique, il a été choisi d'appeler les statistiques globales du premier et du second ordre comme \bar{S}^k et σ_{S^k} , avec l'exposant k prenant ses valeurs dans l'ensemble $\{Cl, Imp\}$ et reflétant l'appartenance à la classe client ou à la classe imposteur. De même les \bar{S}_i^k et $\sigma_{S_i^k}$ se réfèrent aux statistiques locales du vecteur score authentique ou imposteur contenant les M scores du $i^{ème}$ utilisateur, avec $1 \leq i \leq N$. De toute évidence, les paramètres statistiques globales et locales peuvent être liés par les relations $\bar{S}^k = \frac{1}{MN} \sum_i^{MN} S_i^k$ et $\sigma_{S^k} = \sqrt{\frac{\sum_i^{MN} (S_i^k - \bar{S}^k)^2}{MN}}$. En outre, le Tableau 2.1 fournit les paramètres principaux des techniques classiques de normalisation invoquées dans cette thèse, avec $\hat{\theta}_i^{\{Cl, Imp\}}$ le modèle GMM estimé de l'utilisateur, basé sur l'utilisation de l'algorithme EM (Expectation & maximisation) [66].

2.2 Méthode de Normalisation Proposée

L'impact de la ménagerie de Doddington zoo est perçu du point de vue probabiliste, comme étant l'emplacement d'un ensemble de distributions de scores des utilisateurs sur l'axe des scores, avec la plage supérieure caractérisant les distributions des personnes authentiques alors que le secteur inférieur hébergeant celles des imposteurs ; avec l'existence d'une région de chevauchement, dénommée intervalle d'incertitude. En raison de la taille des échantillons des scores de l'utilisateur, il est adopté le rapprochement des scores de chaque utilisateur par une distribution gaussienne. Toutefois, dans des applications réelles, seule une taille limitée des échantillons des scores est disponible, aussi bien une disparité de taille existe entre les genuines et entre les imposteurs. Dans ce cas de scénario, le terme taille asymétrique est adressé aux utilisateurs intra-classe, au lieu des utilisateurs inter-classe, avec la classe se référant à celle des clients ou des imposteurs. Faire appel aux méthodes de ré-échantillonnage (boosting) des données d'apprentissage basées sur l'exploitation des stratégies de prédiction [67] est hors de portée de la présente thèse, ce qui aurait résolu le problème d'asymétrie de dimension au détriment d'une complexité accrue. Il est proposé trois protocoles de validation de l'approche principale de cette thèse. Le premier concerne le dimensionnement uniforme intra-classe de la taille scores client et de celle de l'imposteur, le second est appliqué sur les clients seulement, tandis que le troisième sur les imposteurs.

L'approche de normalisation proposée [20] s'inspire du concept de révision des scores utilisateurs, avec scores représentant les opinions des experts ou encore utilisateurs. Cette révision des scores va générer un certain niveau de corrélation entre les utilisateurs authentiques de l'ensemble de la base de données d'entraînement, de même pour les imposteurs. La principale distinction dans les processus de révision de scores appliquée sur les usagers authentiques et sur les imposteurs est l'antagonisme existant entre les deux processus. Une ou plusieurs révisions pour arriver à un certain consensus sont mentionnées dans le titre de la thèse par le terme "adaptatif". Il est attribué à chaque expert un poids représentant son degré de confiance sur son opinion. Dans le cadre de cette étude, le poids est évalué en utilisant la pseudo métrique non-symétrique, non négatif, qui est la divergence de Kullback-Leibler [68], $D_{KL}(S_i||S_j)$, qui estime le degré de séparabilité des deux probabilités d'experts représentées par leurs opinions, S_i et S_j . En d'autres termes, la $D_{KL}(S_i||S_j)$ traduit comment la distribution d'opinion d'un expert S_i , diverge par rapport à la distribution d'opinion de son voisin

S_j sur un domaine de χ , qui peut être formulé mathématiquement comme :

$$D_{KL}(S_i(x)||S_j(x)) = \sum_{x \in \chi} S_i(x) * \log \frac{S_i(x)}{S_j(x)} \quad (2.10)$$

Dans ce travail, il est supposé que la probabilité des scores correspond à la fonction de densité de probabilité (pdf). En résumé, l'organigramme proposé dans la Figure 2.1 est décrit comme suit :

Deux étapes principales sont impliquées dans la démarche proposée, tel qu'il sera élaboré plus tard dans le paragraphe 2.2.2 ; dans la première partie, il est à estimer les statistiques les plus informatives locale et globale, notées LMI et GMI, respectivement. Par la suite, ces statistiques obtenues sont introduites dans la formule de normalisation de score de l'utilisateur. Avant l'évaluation des paramètres LMI et GMI, une révision des scores/opinions d'experts est effectuée. Lors de chaque révision, l'expert doit apporter un nouvel argument informatif découlant de la procédure de normalisation précédente jusqu'à la convergence de la distribution des scores où le nombre maximal des révisions est atteint. Par conséquent, chaque expert fournit une évaluation de sa vraisemblance d'être proche ou loin des distributions de scores/opinions des autres experts, notée P pour celle des clients et Q pour les imposteurs. Puis, pour chaque expert et à chaque itération, le processus de révision met les distributions des autres experts dans une combinaison pondérée par les vraisemblances mentionnées P pour les clients et Q pour les imposteurs, générant ainsi une nouvelle opinion de l'expert. On définit les matrices de transition de clients P et des imposteurs Q comme suit :

$$P^{(t)} = \begin{pmatrix} P_{11}^{(t)} & \cdots & P_{1N}^{(t)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{N1}^{(t)} & \cdots & P_{NN}^{(t)} \end{pmatrix} \text{ and } Q^{(t)} = \begin{pmatrix} Q_{11}^{(t)} & \cdots & Q_{1N}^{(t)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Q_{N1}^{(t)} & \cdots & Q_{NN}^{(t)} \end{pmatrix} \quad (2.11)$$

Les éléments de la matrices, $P^{(t)}$ et $Q^{(t)}$ sont définis respectivement comme [69] :

$$P_{ij}^{(t)} = \alpha_{ij}(\varepsilon_{Cl} + DCI_{ij}^{(t)}) \quad (2.12)$$

et

$$Q_{ij}^{(t)} = \frac{\beta_{ij}}{(\varepsilon_{Imp} + DImp_{ij}^{(t)})} \quad (2.13)$$

L'indice révision est représenté par la variable t . Pour chaque indice i , les paramètres α

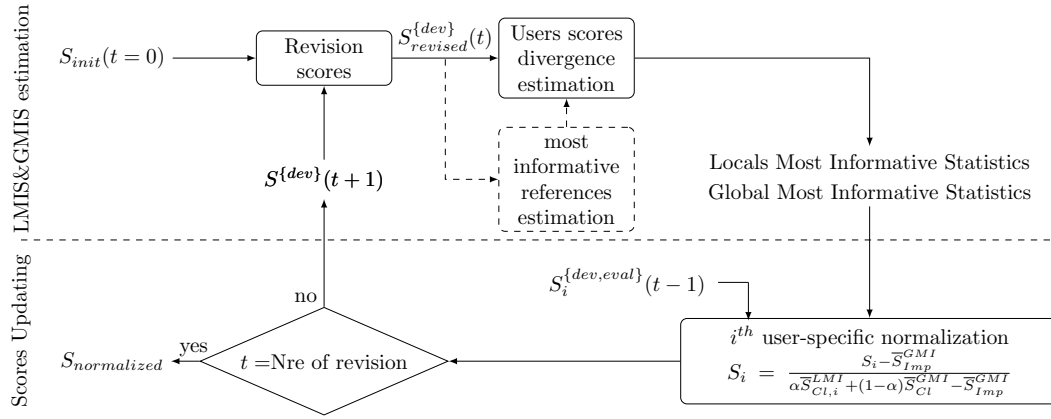


Figure 2.1 – Diagramme de flux global de notre proposition.

et β dans les équations ci-dessus sont sélectionnés tels que P_{ij} et Q_{ij} soient convexes non-négatifs et, $\sum_{j=1}^N P_{ij}^{(t)} = 1$ et $\sum_{j=1}^N Q_{ij}^{(t)} = 1$. En outre, les constantes ε_{Cl} et ε_{Imp} ont été introduites pour éviter la singularité des matrices $P^{(t)}$ et $Q^{(t)}$. Enfin, $DCl_{i,j}^{(t)}$ et $DImp_{i,j}^{(t)}$ sont les distances Euclidiennes entre voisinage des utilisateurs appartenant à la zone clients et imposteurs, respectivement. Par conséquent, leurs expressions sont données par :

$$DCl_{i,j}^{(t)} = distance(S_i^{Cl}(t), S_j^{Cl}(t)) \quad (2.14)$$

$$DImp_{i,j}^{(t)} = distance(S_i^{Imp}(t), S_j^{Imp}(t)) \quad (2.15)$$

Une fois les matrices de transition calculées, le processus de révision de la distribution de scores est lancé en fonction de l'emplacement de l'utilisateur. Lorsque cette distribution appartient à la classe client, sa mise à jour s'effectuera selon l'équation [70] :

$$S_{i, revised}^{Cl}(t) = \sum_{k=1}^N P_{ik}^{(t-1)} * S_k^{Cl}(t-1) \quad (2.16)$$

Dans le cas contraire, la mise à jour de la distribution des scores est adoptée comme suit :

$$S_{i, revised}^{Imp}(t) = \sum_{k=1}^N Q_{ik}^{(t-1)} * S_k^{Imp}(t-1) \quad (2.17)$$

L'opérateur '*' est l'opérateur produit. L'indice t est l'indice révision.

2.2.1 Différence entre l'agrégation en l'économie et celle de l'agrégation de scores biométriques

Le concept de l'agrégation, lorsqu'il est appliqué à l'économie et les domaines sociaux, suppose que la mise en commun est appliquée sur des experts ayant une expérience confirmée dans le domaine. Malheureusement, en matière de biométrie, cette hypothèse n'est pas valide du fait que la révision des opinions de l'utilisateur repose sur l'interaction partielle existante avec le voisinage d'experts appartenant à la même classe de la base de données développement. Certains utilisateurs sont faibles, à cause de leurs localisations dans l'intervalle d'incertitude, ce qui rend le problème plus critique. En effet, par opposition à l'agrégation de sciences économiques, affaiblissant l'opinion de l'utilisateur par le biais de la révision portant sur ces utilisateurs qui ne sont pas en mesure de défendre leur identité contre les attaques des imposteurs, n'a aucune signification. Intrinsèquement, la majeure partie des personnes authentiques est située loin de la zone d'incertitude, ce qui rend l'erreur d'authentification relativement petite. Par ce constat, il s'en déduit l'idée de la statistique la plus globale pour l'ensemble de tous les utilisateurs authentiques, de la même manière que pour les imposteurs. En se basant sur cette idée et pour éviter le déplacement de la distribution globale vers l'intervalle d'incertitude, une recherche de la localisation de référence a fait l'objet d'étude évoquée dans la section 2.2.2.

2.2.2 La recherche de la localisation des références

La recherche de l'utilisateur le plus divergent de celui d'intérêt, parmi les $(N - 1)$ cas possibles, pourrait être d'une complexité prohibitive, puisqu'elle implique la localisation de chaque utilisateur et de ses imposteurs correspondants. En effet, pour y parvenir, il est indispensable de réduire l'intervalle d'incertitude en augmentant la disparité des clients et des imposteurs. Il est bien connu que la divergence de Kullback-Leibler [71] ne montre pas le sens de déplacement de l'utilisateur et ces voisins, au sens de distribution (voir Figure 2.2). Comme on peut constater par la Figure 2.2 que, $D_{kl}(C||A)$ et $D_{kl}(C||E)$ sont égaux, avec localisation opposée, similaire pour $D_{kl}(C||B)$ et $D_{kl}(C||D)$. À cette fin, la localisation n'est pas indiquée par le biais de cette mesure de divergence, rendant ainsi, la localisation plus difficile des utilisateurs les plus divergents et les plus informatifs de ceux des moins informatifs, pour chaque utilisateur. Ce travail vise la localisation de la dispersion la plus informative de référence pour tous les clients et de même pour tous les imposteurs. Fonda-

mentalement, trouver la distribution de référence plus instructive dans l'espace des clients de même dans l'espace des imposteurs, sont atteintes en fusionnant deux stratégies populaires d'agrégation [59], à savoir la Linear Opinions Pool (LOP) [52] et la LoGarithmic opinions Pool (LGP) [72]. Cette combinaison vise à contourner les grandes fluctuations de la LOP et la situation nulle de la LGP, réunissant ainsi les avantages des deux approches. Le concept de cette coopération de deux pool d'opinions LOP-LGP, notée COP (cooperative opinion pool), pouvait s'exprimer mathématiquement par l'équation suivante :

$$S_{coop}^k(t) = \left(\sum_i w_i S_i^k(t) \right)^{1/\alpha_1} + \left(\sum_{i,j:i \neq j} (w_i + w_j) S_i^k(t) \circ S_j^k(t) \right)^{1/\alpha_2} \\ + \left(\sum_{i,j,k:i \neq j \neq k} (w_i + w_j + w_k) S_i^k(t) \circ S_j^k(t) \circ S_k^k(t) \right)^{1/\alpha_3} + \\ \dots + \left(S_i^k(t) \circ S_j^k(t) \circ S_k^k(t) \circ \dots \circ S_{N-1}^k(t) \circ S_N^k(t) \right)^{1/\alpha_N},$$

$$\text{avec } k = \{Cl, Imp\} \quad (2.18)$$

où, pour la partie droite de l'équation (2.18), le premier terme se rapporte à la contribution de la LOP, tandis que les autres termes représentent toutes les combinaisons linéaires convexes possibles de la LOP associée avec la LGP avec un facteur de pondération $\frac{1}{\alpha_n}$, où $\alpha_n = \frac{\alpha_n - 1}{\gamma}$, et $0 \leq \gamma \leq 1$ et t désignant le nombre de processus de révision de scores. Le symbole \circ dans l'équation (2.18) est synonyme de produit de Hadamard entre les distributions des vecteurs scores, par contre, Le symbole \circ dans l'équation (2.19) est synonyme de produit de Hadamard entre les distributions et le vecteur identité e . Rappelons que la fusion de scores à l'aide de LGP (encore dénommé produit des distributions ou la distribution a posteriori) est définie comme suit [73]

$$S_{LGP} = \frac{S_1^{w_1} \circ S_2^{w_2} \circ S_3^{w_3} \circ \dots \circ S_N^{w_N}}{(S_1^{w_1} \circ S_2^{w_2} \circ S_3^{w_3} \circ \dots \circ S_N^{w_N}) e} \quad (2.19)$$

La Figure 2.3 illustre les résultats de l'application des méthodes LOP, LGP et COP pour l'agrégation de cinq distributions. Notez qu'un choix approprié des valeurs α et γ a entraîné une localisation précise de la distribution de COP dans l'échelle des μ [13, 20] et [40, 47],



Figure 2.2 – Divergence de Kullback-Leibler de la distribution centrale (noire) par rapport aux distributions voisines. Où $D_{kl}(C||A)$ $D_{kl}(C||B)$ $D_{kl}(C||D)$ $D_{kl}(C||E)$ sont 21.1937, 6.1945, 6.1945, 21.1937, respectivement.

ce qui valide ce concept d'agrégation. L'efficacité de cette méthode d'agrégation est vérifiée pour les autres scénarios en Figure 2.4, où la distribution centrale est décalée à $\mu = 35$, pour obtenir une localisation de la distribution de la COP dans la zone $[40, 47]$ de l'échelle de μ . Une question soulevée par l'introduction de la méthode proposée de l'agrégation COP concernant la complexité induite par les différentes combinaisons, même avec cinq distributions comme mentionné à titre d'exemple. En effet, comme indiqué par l'équation (2.18), le nombre possible de combinaisons pour cinq distributions sans tenir compte de leur ordre est ${}_nC_r = \frac{n!}{r!(n-r)!}$, où r représente $\#$ objets tirés sur l'ensemble total n , avec ($n > r$). Dans cet exemple, on y trouve les nombres de combinaisons suivantes ${}_5C_1 = 5$, ${}_5C_2 = 10$, ${}_5C_3 = 10$ et ${}_5C_4 = 5$, de ceci les combinaisons possibles totales permettant l'exécution de l'algorithme de la COP est de 30, ce qui est une complexité prohibitive, plus particulièrement dans le cas d'utilisation de $r = 200$ pour les scores de base de données XM2VTS. Pour surmonter l'obstacle de la complexité, il a été appliqué un regroupement (ou un fenêtrage) sur les distributions triées par rapport à leurs moyennes de localisation. Ce fenêtrage permet en même temps de résoudre le problème de divergence infinie, qui se pose en raison de l'étroite variance des distributions des scores après application de l'approche de coopération COP (voir Figure 2.4).

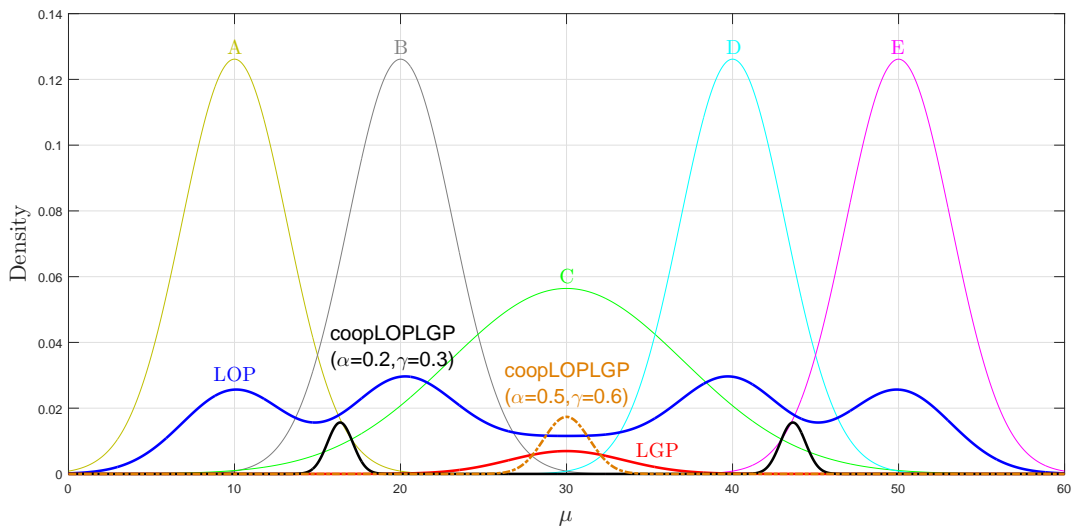


Figure 2.3 – Cinq distributions (A, B, C, D, E) disposées de façon à avoir une vue symétrique et leurs distributions regroupées agrégées, tout d'abord, la LGP (ligne rouge), suivie par la LOP (ligne bleue) et des distributions de coopLOPLGP (pointillée en marron et ligne noire).

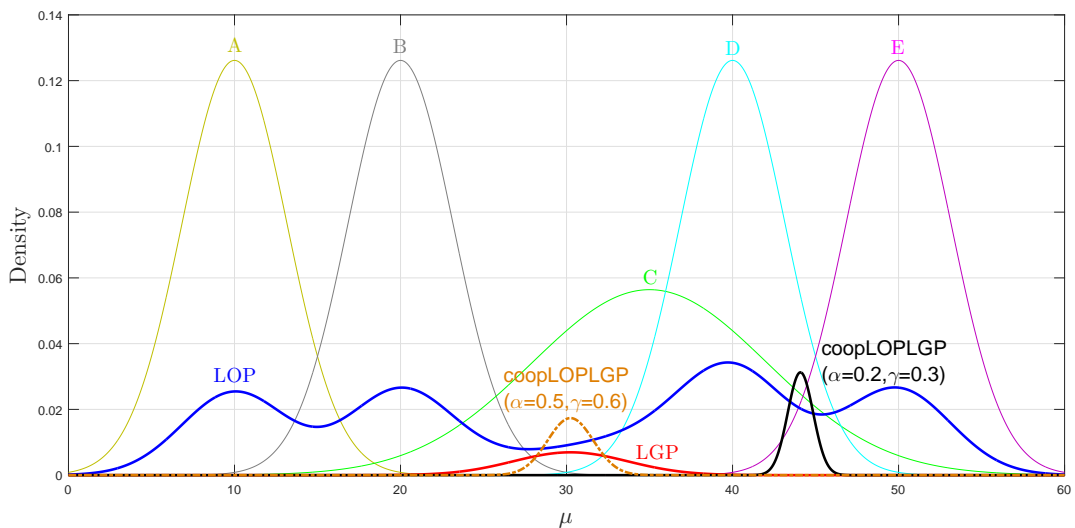


Figure 2.4 – Cinq distributions (A, B, C, D, E) avec la distribution C disposée de telle sorte à pouvoir créer une vue non-symétrique de l'ensemble. Puis nous avons LOP (ligne bleue), LGP (ligne rouge) et des distributions de coopLOPLGP (pointillée en marron et ligne noire).

Algorithm 1: USERS GMI & LMI statistics estimation, scores users revision then normalization step

Input: N set of probability vectors $S = \{S_i^{Cl}(0), S_i^{Imp}(0)\}_{i=1}^N$, coefficients of calibration $\varepsilon_{Cl} = 0.001, \varepsilon_{Imp} = 0.001$.
Output: $\{S^{Cl}, S^{Imp}\}_{\{dev,eva\}}$ normalised scores sets.

```

1  time ← max{revisionTimeCl, revisionTimeImp};
2  t ← 1;
3  while t ≤ time do
4      for i ← 1 to N do          /* development data set distances measure */
5          for j ← 1 to N do
6              DClij = distance(SiCl(t), SjCl(t));
7              DImpij = distance(SiImp(t), SjImp(t));
8          if t ≤ revisionTimeClient then /* users matrices stochastic estimation */
9              for i ← 1 to N do
10                 for j ← 1 to N do
11                     Pij(t) = αij(t)(εCl + DClij(t))
12             else
13                 for i ← 1 to N do
14                     for j ← 1 to N do
15                         Pij(t) = Pij(t-1)
16             for i ← 1 to N do          /* users scores revision with LOP approach */
17                 Si, revisedCl(t) = ∑k=1N Pik(t) SkCl(t)
18             if t ≤ revisionTimeImpostor then          /* impostors matrices stochastic
19                 estimation */
20                 for i ← 1 to N do
21                     for j ← 1 to N do
22                         Qij(t) =  $\frac{\beta_{ij}^{(t)}}{(\varepsilon_{Imp} + DImp_{ij}^{(t)})}$ 
23             else
24                 for i ← 1 to N do
25                     for j ← 1 to N do
26                         Qij(t) = Qij(t-1)
27             for i ← 1 to N do          /* impostors scores revision with LOP approach */
28                 Si, revisedImp(t) = ∑k=1N Qik(t) SkImp(t)
29                 /* users LMI & GMI estimation then scores normalization */
30             for i ← 1 to N do
31                 estimation of GMI & LMI statistics from Eq. (2.18) and SiCl, (dev,eva)(t) and
32                 SiImp, (dev,eva)(t)
33                 by using Tab.2.2;
34             t ← t + 1;
35  SCl(t) = S1Cl(t) ∧ S2Cl(t) ∧ ... ∧ SN-1Cl(t) ∧ SNCl(t);
36  SImp(t) = S1Imp(t) ∧ S2Imp(t) ∧ ... ∧ SN-1Imp(t) ∧ SNImp(t);
37  return {SCl, SImp}{dev,eva}
    
```

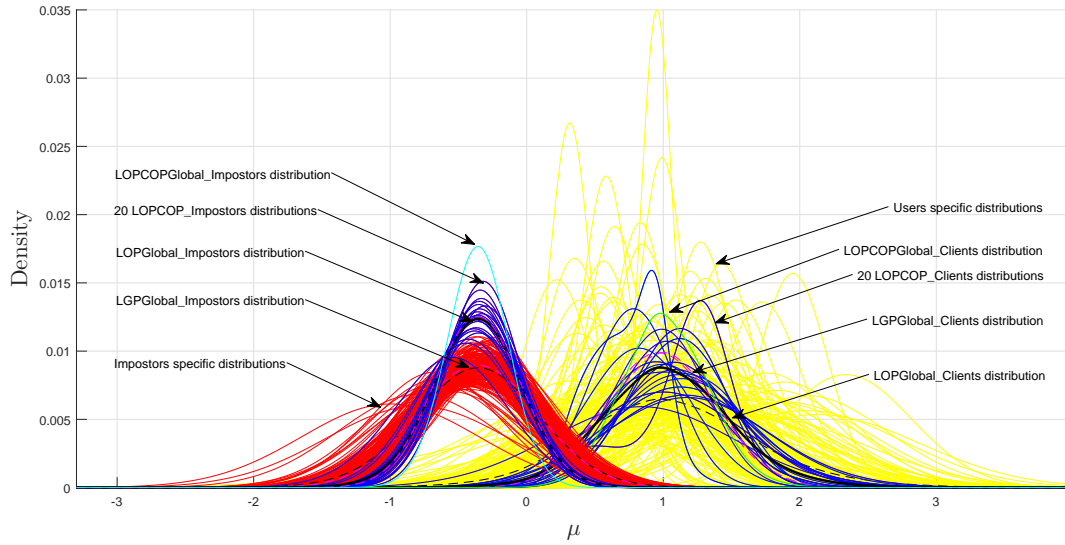


Figure 2.5 – Densités de probabilités des Clients et des imposteurs avec leurs distributions de coopLOPLGP respectives de la base de données score XM2VTS.

Tableau 2.2 – Description des types d’experts avec un dimensionnement uniforme.

Type d’expert	Approches spécifiques à l’utilisateur $S_i^{LOPCOPnorm}$
Client	$\frac{S_i - \bar{S}_G^{Imp}}{\alpha \bar{S}_{LMI(i)}^{Cl} + (1-\alpha) \bar{S}_{GMI}^{Cl} - \bar{S}_G^{Imp}}$
Impostor	$\frac{S_i - \bar{S}_{GMI}^{Imp}}{\alpha \bar{S}_i^{Cl} + (1-\alpha) \bar{S}_G^{Cl} - \bar{S}_{GMI}^{Imp}}$
Client & Impostor	$\frac{S_i - \bar{S}_{GMI}^{Imp}}{\alpha \bar{S}_{LMI(i)}^{Cl} + (1-\alpha) \bar{S}_{GMI}^{Cl} - \bar{S}_{GMI}^{Imp}}$

2.2.3 Types d’experts avec dimensionnement uniforme

Il est référé par la LOPCOP-norm comme étant l’association de la partie LOP des statistiques de l’approche de normalisation proposée avec la partie COP des estimations des statistiques GMI et LMI. Comme mentionné précédemment, la procédure de normalisation est bien détaillée dans l’algorithme 1. Le Tableau 2.2, fournit les formules de normalisation en fonctions du type de données à dimensionnement uniforme.

Pour les méthodes d’agrégation, les statistiques, la LMI pour l’ $i^{ième}$ utilisateur et la GMI pour l’ensemble globale des usagers (clients, imposteurs), sont estimées en utilisant l’ensemble score clients et imposteurs vérifiant l’uniformité de dimensionnement. La Figure 2.5 représente l’ensemble de distributions, clients et imposteurs, avec leurs GMI (clients, imposteurs) et leurs LMI, correspondants. Les lignes jaunes et rouges comprennent les 200 clients

et leurs impôts correspondants, les lignes bleues, sont les 20 coopératives distributions des variables locales pour les clients et leurs impôts correspondants, celle en noire est la distribution de LOP des clients positionnés à droite en outre, nous avons celle des impôts positionnée à gauche, puis en vert et en cyan ce sont les distributions globales de coopératives pour les clients et les impôts, respectivement.

3 Conclusion

L'accent de cette étude a été mis sur la proposition d'une nouvelle approche de normalisation spécifique à l'utilisateur, englobée dans un cadre d'agrégation incomplète, qui fait appel au concept d'opinion des experts.

CHAPITRE 3

Analyse de l'agrégation partielle des utilisateurs pour la normalisation de score biométrique d'un système monomodal ou de fusion multimodal

1 Introduction

Le principal apport de l'approche proposée, basée sur la théorie d'agrégation, appliquée sur l'espace natif ou score d'origine, est l'introduction d'un nouveau concept de normalisation en score spécifique à l'utilisateur. La validation de cette approche est conduite par une évaluation approfondie des performances pour une modalité biométrique suivie d'une évaluation de la fusion de différentes modalités biométriques, pour atteindre une fiabilité de la décision finale. L'analyse comparative a été réalisée sur trois bases de données scores, à savoir Nist2005, Biosecure DS2 et XM2VTS.

2 Stabilité et paramètres de l'analyse

2.1 Analyse de la stabilité

La stabilité reflète comment le système réagit contre de faibles perturbations introduites sur l'ensemble d'informations d'entraînement du système [20]. Lorsque les résultats du pro-

cessus de normalisation subissent une faible dérive par rapport au repos ou encore à l'état sans perturbation, on dit que cette approche est stable, par contre dans le cas contraire, elle est considérée comme instable. Dans ce contexte, estimer la stabilité de l'approche fait introduire l'évaluation de l'erreur de prédiction, quantifiée au sens de la moyenne quadratique (MSE). La décomposition en biais et la variance pour n'importe quelle fonction, quelle que soit l'approche de modélisation approximant la valeur réelle, sont données par l'espérance mathématique de l'erreur quadratique moyenne du résultat prédit et de la fonction estimée [67] [74] [75] [76].

Cette erreur de prédiction est constituée de trois éléments essentiels, comme le montre l'équation suivante :

$$MSE = Bias(T[S_n])^2 + Var(T[S_n]) + Var(bruit) \quad (3.1)$$

Le premier terme se rapporte au biais de l'estimé où il définit à quelle distance de la véritable fonction se situe la moyenne de l'ensemble des estimations possibles, qui est exprimé par :

$$Bias(T[S_n]) = T[S_n] - E[\hat{T}[S_n]] \quad (3.2)$$

Le deuxième terme de l'Équation (3.1) correspond à la variance, qui n'est que la fluctuation de chaque estimé par rapport au barycentre de l'ensemble des estimés. Cette statistique d'ordre deux peut être formulée comme suit :

$$Var(T[S_n]) = E[(\hat{T}[S_n] - E[\hat{T}[S_n]])^2] \quad (3.3)$$

La troisième partie, côté droit de l'Équation (3.1), correspond à une fluctuation indésirable appelée bruit, inhérent au système, et qui n'est pas sujet de réduction possible.

L'aspect variance a été sélectionné comme paramètre d'évaluation de la stabilité de l'approche proposée. Cette restriction a été motivée par deux arguments. Le premier est celui de l'évaluation du biais qui doit être effectuée en ayant un modèle précis de la vraie fonction, ce qui est difficile à réaliser en pratique. Le second concerne les comportements antagonistes entre le biais et la variance, qui nécessite une rigoureuse recherche paramétrique d'un compromis entre ces deux métriques [77]. Par hypothèse, on suppose que le biais est constant, ce qui justifie l'adoption de la variance pour la stabilité. Cette variance est définie par l'expres-

sion suivante [78] :

$$Var(T[S_n]) = \frac{1}{N} \sum_i (T[S_i^{\{Cl, Imp\}}] - \bar{T}[S_i^{\{Cl, Imp\}_{dev}}])^2 \quad (3.4)$$

Avec, S_n le vecteur score du $n^{ième}$ utilisateur, où l'indice i du S_i correspond à l'indice score du vecteur du $n^{ième}$ utilisateur.

D'où la variance est moindre plus le système est stable. L'erreur de la stabilité relative est définie par l'écart existant entre la moyenne de l'ensemble de stabilités des utilisateurs pour une approche fixée, par rapport à la statistique d'ordre un, de toutes les stabilités des utilisateurs obtenus avec un modèle de référence.

2.2 Paramètres et métriques de l'analyse

A travers la Figure 3.1, l'intervalle d'incertitude, entre les deux distributions scores clients et scores imposteurs, est mis en évidence par la zone hachurée rouge pour les clients faussement rejetés et par la région de hachurée bleue pour les imposteurs faussement acceptés, avec un seuil de décision fixé a priori par l'administrateur du système biométrique. Pour l'analyse comparative [20], nous adoptons quatre métriques d'évaluation.

2.2.1 Equal Error Rate (EER)

Le taux d'erreur (EER : Equal Error Rate) est défini comme étant l'erreur que le système fait lorsque le nombre de demandes d'accès faussement rejeté est égal à celui faussement reconnu. Ces deux erreurs correspondent au taux de faux Non-Matching (FNMR) ou encore un taux de fausse acceptation (FAR), avec le taux de faux rejet (FRR) ou le taux correspondant aux fausses correspondances (FMR).

Généralement, la fonction d'erreur, notée erf, intervient pour l'estimation de la surface en-dessous de l'enveloppe d'une distribution de type gaussienne bornée entre deux limites, et qui est décrite à l'aide de l'expression suivante :

$$erf(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \quad (3.5)$$

où t est une variable muette.

Par conséquent, on évalue l'erreur de FNMR en fonction de la fonction erf comme suit :

$$\begin{aligned} FNMR(\tau_C) &= P(X < \tau_C), \\ &= \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{\tau_C - \mu_C}{\sigma_C \sqrt{2}} \right) \right] \end{aligned} \quad (3.6)$$

De même, FMR peut être formulé par :

$$\begin{aligned} FMR(\tau_I) &= P(X > \tau_I), \\ &= \frac{1}{2} \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{\tau_I - \mu_I}{\sigma_I \sqrt{2}} \right) \right] \end{aligned} \quad (3.7)$$

Par conséquent, le Taux d'Erreur Egale (EER : Equal Error Rate) au point de fonctionnement $\tau_C = \tau_I = \tau_{eer}$, est défini comme :

$$FNMR(\tau_{eer}) = FMR(\tau_{eer}) \quad (3.8)$$

Du fait que, la fonction erf est une fonction bijective impaire et avec certain nombre de substitutions, le seuil de décision au point de fonctionnement à Taux d'Erreur Égale est :

$$\tau_{eer} = \frac{\sigma_C \mu_I + \sigma_I \mu_C}{\sigma_C + \sigma_I} \quad (3.9)$$

L'EER est par conséquent obtenu, par substitution du τ_{eer} dans l'expression de $FNMR$ ou de FMR , c'est-à-dire :

$$EER = FNMR(\tau_{eer}) = FMR(\tau_{eer}) \quad (3.10)$$

2.2.2 Expected Performance Curve (epc)

Les critères de seuillage sont adoptés afin d'estimer le seuil optimal λ^* avec l'ensemble de données de développement utilisé. Deux critères pourraient servir à cette fin, l'un dans lequel λ^* correspond à l'estimation de $EER(\lambda^*)$, ou celui basé sur le principe de minimisation du taux d'erreur de pondération (WER : Weigthed Error Rate) en fonction du taux d'erreur FAR et FRR . Nous donnons ci-dessous la définition de WER avec ce seuil optimal pour une valeur de α donnée [79] :

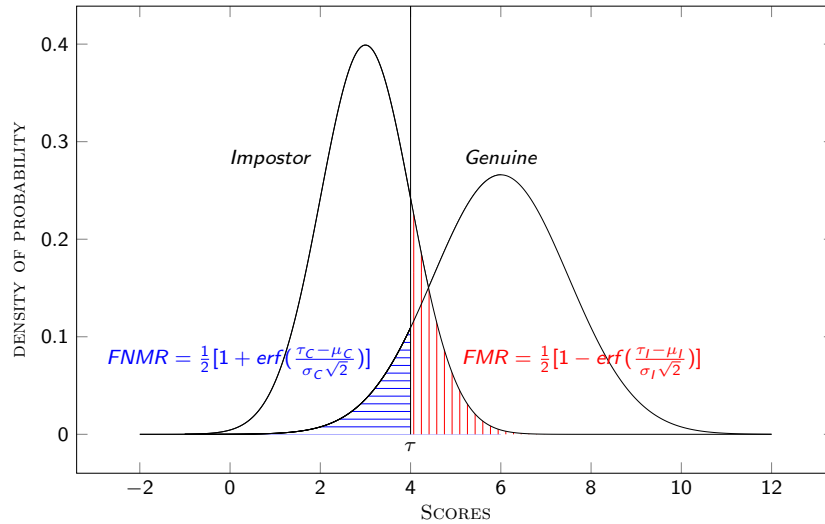


Figure 3.1 – Région correspondante au taux de faux rejets ou taux de fausse non-correspondance et taux de fausses acceptations ou taux de fausses correspondances, résultante du chevauchement de la distribution globale des clients avec celle des imposteurs.

$$WER(\alpha, \lambda) = \alpha FAR(\lambda) + (1 - \alpha) FRR(\lambda) \quad (3.11)$$

$$\Rightarrow \lambda_{\alpha}^* = \underset{\lambda}{\operatorname{argmax}}(WER(\alpha, \lambda)); \quad \text{avec } \alpha \in [0, 1]$$

Le taux d'erreur (HTER) associé à λ_{α}^* est alors évalué comme :

$$HTER(\lambda_{\alpha}^*) = \frac{FAR(\lambda_{\alpha}^*) + FRR(\lambda_{\alpha}^*)}{2} \quad (3.12)$$

Pour résumer l'approche, à chaque valeur de α , un seuil optimal λ_{α}^* est obtenu à l'aide de l'Équation (3.12), et par la suite le *HTER* correspondant est calculé à partir de l'Équation (3.12). À la fin, l'ensemble obtenu des paramètres *HTER* est tracé en fonction des valeurs relatives de α formant la courbe de Performance (*epc*). Il est à noter que l'application ciblée dépend de la région de α choisie, par exemple la sélection de la plage où $\alpha < 0,5$ correspond aux applications qui minimisent l'erreur de faux rejets des clients, tandis que $\alpha > 0.5$ est dédié aux applications où l'erreur de fausses acceptations des imposteurs (fausses alarmes) est à minimiser.

2.2.3 FNMR/FMR 0.1% & 0.01%

Les métriques de performance ont été introduites par le standard de normalisation des erreurs d'évaluation en 2001 ANSI [80], où les points d'opération spécifique pour les Faux Taux de Matching (FMR) ont été choisis dans la gamme 0.1%, 0.05% et 0.01% et qui correspondent aux sécurités minimale, moyenne et haute, respectivement. Dans cette thèse, deux niveaux de sécurités sont adoptés, à savoir la sécurité minimale et la haute sécurité. En ayant fixée l'erreur FMR, nous devons estimer l'erreur FNMR (Taux Faux Non correspondances). En d'autres termes, estimer les erreurs $FNMR(\tau_{0.1})$ et $FNMR(\tau_{0.01})$ correspondantes au cas de $FMR(\tau_{0.1}) = 0.1\%$ et $FMR(\tau_{0.01}) = 0.01\%$, où les indices τ sont estimés à partir de l'erreur FMR, puis substitués dans l'Équation 3.6 pour obtenir l'erreur FNMR. Par exemple $\tau_{0.01}$ est évalué à partir :

$$FMR(\tau_{0.1}) = \frac{1}{2} \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{\tau_{0.1} - \mu_I}{\sigma_I \sqrt{2}} \right) \right] = 0.1\% \quad (3.13)$$

En utilisant la propriété de l'inversion de la fonction erf, avec quelque substitutions, une expression pour $\tau_{0.01}$ est obtenue :

$$\Rightarrow \tau_{0.1} = 2.8782\sigma_I + \mu_I \quad (3.14)$$

De même, pour le point de fonctionnement 0.01%, on obtient :

$$\Rightarrow \tau_{0.01} = 3.7190\sigma_I + \mu_I \quad (3.15)$$

Il est constaté que le seuil se déplace vers le côté droit de la distribution en passant de $FMR_{0.1}$ à $FMR_{0.01}$, ce qui entraîne une augmentation de la superficie sous la distribution gaussienne des clients P_C , et par conséquent une augmentation de l'erreur au point de fonctionnement 0.01% par rapport à celle au point de fonctionnement 0.1%. Ce constat est consolidé par les résultats d'analyse comparative de la section 3.

2.2.4 Détection d'erreur avec compromis (DET)

La courbe de détection d'erreur avec compromis (*DET* :Detection Error Trade-off) est une mesure qui assure un compromis entre la fausse alerte et les erreurs de détection manquées pour les différents points de fonctionnements. Ainsi, son principe est équivalent à celui de la métrique *ROC* définie comme étant la caractéristique de fonctionnement relatif [81][82]. En raison de la propriété de linéarité de la représentation *DET* que cette dernière est plus fiable par rapport à la représentation *ROC*. Pour plus de détails sur l'approche, nous orientons le lecteur vers la référence [83].

3 Analyse

3.1 Bases de données

Ce paragraphe est consacré à la description des bases de données scores utilisées dans ce travail, à savoir XM2VTS, NIST 2005 et Biosecure DS2. Chacune d'elles est décrite par la suite [20].

3.1.1 XM2VTS base de données score

La base de données des scores XM2VTS est caractérisée par le fait que tous les clients coopèrent avec le système d'acquisition. Cette base de données convient parfaitement à une étude d'impact sur l'effet de Doddington zoo. La base de données XM2VTS est une accumulation de 295 informations biométriques bi-modales utilisateur (visage et voix), capturées en quatre sessions prises à des intervalles d'un mois [84]. Cinq groupes mènent les accès, à savoir l'ensemble de clients d'apprentissage, l'ensemble de clients d'évaluation, l'ensemble d'imposteurs d'évaluation, l'ensemble de clients d'essai et l'ensemble d'imposteurs de tests. Ces groupes sont utilisés de deux manières indépendantes, appelées protocoles de Lausanne LP1 et LP2 où 200 sujets sont utilisés pour le groupe de clients, chacun associé à un groupe de 95 imposteurs avec 8 images prises dans les 4 sessions (voir Tableau 3.1). En outre, cet ensemble de données sur les scores contient 13 systèmes de vérification avec différents processus Front-End pour les modalités de la voix et du visage. Parmi les 13 systèmes de vérification, 9 se rapportent au protocole LP1 et 4 systèmes au protocole LP2. Dans le Tableau 3.4, on utilise la lettre 'F' pour désigner le visage et 'S' pour désigner le speech (voix).

Tableau 3.1 – La description de base de données XM2VTS [1]

Data sets	Lausanne Protocols	
	LP1	LP2
Train client accesses	3	4
Eval client accesses	600(3x200)	400(2x200)
Eval impostor accesses	40.000(25x8x200)	
Test client accesses	400(2x200)	
Test impostor accesses	112.000(70x8x200)	

3.1.2 Nist2005 base de données score

La base de données des scores Nist2005 diffère de la base de données XM2VTS en ce sens qu'elle contient un nombre plus élevé de systèmes de vérification de 24, et contient des problèmes plus complexes telle qu'une incompatibilité entre les environnements de formation et de test. La base de données offre un accès à quelques types de données, y compris les scores de correspondance, les identités vraies et revendiquées, mais aussi les types de sexe et de combiné. Avec cette base de données, on a eu recours à 124 modèles d'utilisateurs, 11992 imposteurs et 1172 véritables accès. Plus de détails peuvent être trouvés dans [85].

3.1.3 Biosecure DS2 base de données score

La base de données Biosecure DS2 [86] a été générée en utilisant trois types d'informations collectées, chacune provenant d'une application réelle. Le premier est lié au contrôle d'accès au Web, le second concerne la validation des informations portables et le troisième le contrôle d'accès au bureau personnel. À partir de ces applications, diverses modalités ont été intéressantes, plus précisément le visage, six modalités émanant de six capteurs différents pour l'empreinte digitale, et l'iris provenant de l'application de contrôle d'accès à l'information de bureau. Ces données sont collectées en deux sessions S_1 et S_2 , où S_1 incarne, pour chacun des cinquante-trois utilisateurs, un seul score et cent trois attaques prises en quatre temps différents (103x4) formant les scores des imposteurs. La session S_2 est assez similaire à S_1 , sauf qu'elle contient deux scores pour chacun des cinquante-trois utilisateurs. S_1 est utilisé pour les scores de développement alors que S_2 est exploité dans l'évaluation (voir Tableau 3.2).

Tableau 3.2 – Description de base de données BioSecure DS2 [2] [3]

Data sets	No. of match scores per peson	
	dev.set(51 persons)	eva.set(156 persons)
S ₁	Gen	1
	Imp	103x4
S ₂	Gen	2
	Imp	103x4

Tableau 3.3 – terminologie et notation adoptée dans la section analyse comparative.

Systems	Stands for
baseline	origin or reference systems or native, defines the outcomes scores without processing
F	F-norm
Z	Z-norm
GMM	Gaussian Mixture Models normalization
LOPCOP	LOP with COoPerative research of the most informative statistics localisation
FLOPCOP	LOPCOP on F-norm space
ZLOPCOP	LOPCOP on Z-norm space
GMMLOPCOP	LOPCOP on GMM space

3.2 Résultats et discussions

Dans ce paragraphe, les résultats de simulation du schéma proposé sont présentés, discutés et comparés avec d'autres alternatives. La démarche est réalisée sur chaque base de données, pour laquelle la performance est évaluée à l'aide des métriques introduites dans la section 2.2, et les résultats qui en résultent sont interprétés.

3.2.1 Notations des approches

Pour faciliter les discussions menées tout au long de la section d'évaluation, les approches utilisées dans le benchmarking sont référencées dans Tableau 3.3. Comme on peut le voir à partir de ce tableau, la plupart d'entre elles sont le résultat d'une projection spatiale et d'une ou deux techniques de normalisation réalisées en cascade ; ceci était clairement reflété dans la terminologie utilisée.

3.2.2 XM2VTS base de données scores

Dans cette base de données, nous acceptons de désigner les systèmes listés dans le Tableau 3.4 suivant une certaine logique. Par exemple LP1 :1(F) signifie que les systèmes initiaux sont évalués sous le protocole 1, en prenant le visage comme modalité. De même, LP2 :4(S) représente l'évaluation du 4^{ème} système sous le second protocole avec la modalité de la parole, et ainsi de suite.

- Figure 3.2 : La Figure 3.2(a) illustre le pool HTER pour différents points de fonctionnement couvrant les valeurs de $\alpha = 0.1$ à $\alpha = 0.9$. Rappelons que $\alpha < 0.5$ correspond aux applications Client (faux rejet) alors que $\alpha > 0.5$ concerne les applications imposteur (fausse alarme). Pour faciliter l'interprétation de cette figure, deux boxes plots ou encore boîtes à moustaches (aussi appelée diagramme en boîte, boîte de Tukey ou box-and-whisker plot en anglais) [87] rapportées dans les Figures 3.2(b,c) ont été figurées, dans les deux domaines d'opération mentionnés ci-dessus ($\alpha < 0.5$ et $\alpha > 0.5$), de façon à montrer à quel domaine chaque approche, lorsqu'elle est testée sur la base de données XM2VTS, est performante. Il apparaît clairement que pour tout α , la ZLOPCOP-norm surpasse toutes les autres alternatives. De plus, il est observé que les schémas reposant sur la F-norm, la Z-norm et la GMM-norm présentent une meilleure performance lorsqu'elles sont projetées dans l'espace LOPCOP. Les Figures 3.2 (d,e) fournissent les performances de la FNMR à 0.01% et 0.1% FMR, respectivement. Avec la base de données XM2VTS, les résultats rapportés dans les deux figures confirment que la projection dans l'espace LOPCOP améliore la performance par rapport aux techniques de normalisation conventionnelles telles que la F-norm, la Z-norm et la GMM-norm dans lesquelles la projection est effectuée dans l'espace natif. L'amélioration des performances proviennent des propriétés de l'espace LOPCOP qui consolide les positions des clients et des imposteurs utilisant l'information statistique GMI, par rapport aux méthodes de normalisation conventionnelle basées sur la localisation de la statistique d'ordre un où ces dernières sont sensibles à l'effet des valeurs aberrantes.
- Tableau 3.4 : Les valeurs EER a posteriori obtenues avec les protocoles LP1 et LP2 en utilisant les modalités faciales et vocales et différentes méthodes de normalisation, reflètent l'intérêt d'exploiter les approches de normalisation dans l'espace LOPCOP par rapport à l'espace original. Mis à part un, le gain de performance est observé avec

tous les autres systèmes, comme indiqué dans ce tableau.

- Figure 3.3 : Cette figure représente la stabilité du schéma proposé dans le contexte de la variance. Là encore, la stabilité est évaluée comme l'inverse de la moyenne intra-variance des écarts-types de tous les clients. La stabilité des imposteurs est obtenue avec la même méthode appliquée sur leur ensemble. Par conséquent, plus l'écart type moyen des utilisateurs est petit, plus l'algorithme est stable. Comme on peut le voir à partir de la Figure 3.3, la stabilité est améliorée dans l'espace LOPCOP, avec les ensembles de développement et d'évaluation, comparé à l'espace original, sauf avec la F-norm où seule une légère amélioration de la stabilité est notée. Cela peut s'expliquer par le fait que la technique de la F-norm améliore déjà l'aspect de la stabilité, car elle diminue l'intra-variance moyenne des clients et des imposteurs, comparée à d'autres alternatives, et l'approche proposée de la LOPCOP a une distribution étroite à celle de la F-norm avec la différence dans les paramètres statistiques déployés.
- Tableau 3.5 : Dans ce tableau, l'amélioration de la stabilité est évaluée en recourant à l'estimation de l'erreur relative de la stabilité entre LOPCOP et les différentes approches. Comme indiqué, la stabilité de LOPCOP s'améliore considérablement dans plusieurs situations.

3.2.3 Nist2005 base de données score

Cette base de données nous amène à étudier les effets de la taille des échantillons et de l'espace de projection en termes de performance *epc*, ainsi que les *FNMR* aux points d'opération 0.01% et 0.1% du *FMR*.

- Figure 3.4 : On voit clairement à partir de cette figure que la variabilité se comporte inversement à la taille des échantillons, ce qui est logique puisque, pour diminuer la variabilité, il faut plus d'échantillons. De plus, cinq échantillons suffisent pour que la ZLOPCOP-norm et la GMMLOPCOP-norm fonctionnent bien. On peut noter également que la Z-norm converge plus rapidement de la variabilité large vers la variabilité étroite par rapport à la F-norm, car la première est indépendante des statistiques client alors que la seconde est sensible aux statistiques de l'utilisateur. D'autre part, l'exécution de la projection dans l'espace LOPCOP au lieu de l'espace de base fournit une plus grande efficacité comme on peut le voir avec la ZLOPCOP-norm, la FLOPCOP-norm et la GMMLOPCOP-norm par rapport à la Z-norm, la F-norm et la

Tableau 3.4 – Résultats expérimentaux des différentes approches appliquées sur la base de données XM2VTS au sens du EER a posteriori en %.

Systems	baseline	LOP	F	FLOP	Z	ZLOP	GMM	GMMLOP
		COP	-norm	-norm	-norm	-norm	-norm	-norm
		-norm	-norm	-norm	-norm	-norm	-norm	-norm
LP1 :1(F)	4.2212	3.6736	3.5677	3.3723	4.0357	3.5903	4.2210	3.6602
LP1 :2(F)	1.8198	1.5090	1.4258	1.4952	1.9223	1.6026	1.8198	1.4936
LP1 :3(S)	1.1507	0.7038	0.6805	0.6054	1.3359	0.3164	1.1507	0.7336
LP1 :4(S)	6.6166	5.0523	4.6306	4.2918	4.9640	3.9831	6.6165	4.9259
LP1 :5(S)	4.5333	2.1362	2.3333	2.0163	2.5736	2.0027	4.5333	2.0905
LP1 :6(F)	3.5330	2.9275	3.1907	3.1500	3.1811	2.6934	3.5347	2.9069
LP1 :7(F)	3.5313	3.2551	3.1372	3.1022	3.2774	2.8555	3.4963	2.7530
LP1 :8(F)	6.6135	6.4974	6.8378	6.8264	6.3527	6.3651	6.6144	6.5473
LP1 :9(F)	6.6116	6.4739	6.5332	6.5467	6.3186	6.3200	6.6126	6.4918
LP2 :1(F)	0.5527	0.7278	0.7909	0.8231	0.9653	0.7327	0.5527	0.6551
LP2 :2(S)	1.3740	0.6622	0.5813	0.5501	0.9886	0.3281	1.3739	0.6676
LP2 :3(S)	5.3922	5.2423	5.2784	5.3837	4.6504	4.2689	5.3914	5.4395
LP2 :4(S)	3.3287	2.8090	2.6008	2.4982	2.2010	2.1520	3.3290	2.8835
TOP(2/2)	1	12	4	9	2	11	2	11
TOP all	1	0	1	1	2	7	0	1

GMM-norm, respectivement.

- Figure 3.5 : Montre les variations en performance de *FNMR* au point d'opération *FMR* de 0.1%, pour différentes tailles de scores et avec des espaces distincts. Les mêmes observations sont valables pour le point de fonctionnement de 0.01%. La seule différence est le ratio par rapport au score natif (base), qui est plus grand au point de fonctionnement de 0.1% que dans le cas de 0.01%.

Tableau 3.5 – Erreur de stabilité relative pour LOPCOP. La stabilité correspond à la moyenne des Déviations Standard d'Intra-Variance-Clients avec celles d'Intra-Variance-imposteurs de l'ensemble de développement et d'évaluation, de la base de données score XM2VTS.

Relative Stability Error (%)	Dev		Eva	
	Client	Impostor	Client	Impostor
LOPCOP/Baseline	-88.34	-83.31	-82.44	-82.24
FLOPCOP/F-norm	-21.52	0.28	-3.66	1.05
ZLOPCOP/Z-norm	-97.62	100.00	-96.71	-93.53
GMMLOPCOP/GMM	-99.68	-99.48	-99.50	-99.47

Tableau 3.6 – Les résultats expérimentaux pour F-norm et Z-norm pour différents espaces, appliquées à la base données scores Biosecure DS2 S_1 , en terme de FNMR@FMR=0.01% & 0.1%.

Systems	FNMR/ FMR0.01	FNMR/ FMR0.1	Systems	FNMR/ FMR0.01	FNMR/ FMR0.1
baseline	26.7128	8.8934	baseline	26.7128	8.8934
F-norm	19.9877	7.7394	Z-norm	15.1687	7.1993
LOPCOP	22.9137	9.5506	LOPCOP	22.9137	9.5506
FLOPCOP	26.8663	6.7226	ZLOPCOP	21.7162	6.8235

3.2.4 Biosecure DS2 base de données score

Dans cette base de données, nous nous appuyons sur le dimensionnement uniforme des scores des imposteurs pour extraire les statistiques des utilisateurs.

- Tableau 3.6 : Récapitule les résultats de l'évaluation obtenus en termes de performance du FNMR par rapport aux points de fonctionnement du FMR de 0.01% et de 0.1%, étudiés pour différentes approches adoptant différents espaces de projection. Avec cette base de données, pour une étude au point de fonctionnement FNMR/FMR0.01, des performances de 19.9877%, 26.8663% et 15.1687% sont atteintes avec la F-norm, la FLOPCOP-norm et la Z-norm, respectivement, ce qui montre une diminution de l'erreur relative pour la Z-norm. Alternativement, au point de fonctionnement FNMR/FMR0.1 de 7.1993%, la ZLOPCOP-norm présente la performance la plus intéressante par rapport à cette erreur, du fait qu'elle fournit la valeur FNMR la plus faible. On peut conclure que, pour cette gamme d'approches, le LOPCOP permet d'exploiter au mieux la variabilité en présence d'uniformité de taille des imposteurs.

Il a été observé une nette amélioration, au sens de la stabilité et de la performance, suite à la réduction de la variabilité de l'utilisateur par l'approche évoquée de normalisation spécifique à l'utilisateur. En général, la stabilité d'une approche se traduit par le degré de son immunité contre l'effet indésirable de la variabilité de l'utilisateur.

3.3 Benchmarking de système de fusion biométrique Multi-modal

Pour effectuer le benchmarking de l'approche proposée dans un cadre de fusion multi-modale, on a eu recours à des bases de données de scores téléchargées à partir de l'emplacement [88]. Ces bases de données englobent plusieurs modalités [84] [2] [3]. Chaque

modalité permet d'étudier l'efficacité de l'approche dans les contextes de dimensionnement uniforme, intra-classe imposteur-client, et intra-classe imposteur, comme il est indiqué par le Tableau 2.2. Dans un premier temps, on a eu recours à trois modalités tirées des bases de données de scores XM2VTS (visage, voix) et Biosecure (empreintes digitales). Cette dernière contient 2 scores pour chacun des 51 authentiques, et 104 échantillons pour les imposteurs correspondants. On effectue une mise en commun des scores correspondant aux trois modalités mentionnées et sélectionnant 35 des 51 utilisateurs en utilisant 2 échantillons pour chaque client, avec les mêmes 104 échantillons pour les imposteurs relatifs. Dans le second contexte, il s'agit d'exploiter la base de données de résultats multimodaux Biosecure DS2 (face, fingerprint1, fingerprint2, fingerprint3, fingerprint4, fingerprint5, fingerprint6, et iris) [88]. Pour ces huit modalités, on utilise le score disponible pour chacun des 35 clients et les 104 échantillons pour les imposteurs. Dans le contexte de la taille uniforme des imposteurs, une étude de performance de la technique proposée LOPCOP-norm est entamée, et on la compare à des approches globales telles que Min-Max, Z-score, Tanh (tangente hyperbolique) et QQ (deux -Quadrics), dans un cadre de fusion multimodale à somme simple [89] [43] [90] [91].

3.3.1 Etude de corrélation pour un système biométrique Multi-modal

Il est primordial d'étudier la corrélation entre les modalités, à titre d'exemple pour la base de données score XM2VTS, contenant deux modalités (visage, voix). On peut voir facilement la différence entre l'exploitation de différentes modalités par contraste aux mêmes modalités, et ceci au sens de la corrélation. Par les figures Figure 3.6 et Figure 3.7 et en correspondance avec leurs tableaux correspondants Tableau 3.7 et Tableau 3.8 nous observons que les résultats sont conformes avec le concept de différentes modalités, ce qui veut dire peu de corrélation et donc peu de redondance. Ce qui renforce le système biométrique au sens de performances.

3.3.2 Clients-imposteurs avec intraclasse uniforme de dimensionnement

- Figure 3.8 : Contient un ensemble de six sous-figures, qui sont présentées de manière à donner des informations sur le type de la modalité et de l'approche de normalisation, utilisées. Ces sous-figures effectuent une comparaison entre les schémas globaux et spécifiques à l'utilisateur. Pour cela, différentes modalités sont étudiées, où les Fi-

Tableau 3.7 – Les combinaisons possible des différents systèmes (visage, voix) du protocole LP1.

Comb	LP1 :2(F)	LP1 :3(S)	LP1 :4(S)	LP1 :5(S)	LP1 :6(F)	LP1 :7(F)	LP1 :8(F)	LP1 :9(F)
LP1 :2(F)	I	(F,S)	(F,S)	(F,S)	(F,F)	(F,F)	(F,F)	(F,F)
LP1 :3(S)	(S,F)	I	(S,S)	(S,S)	(S,F)	(S,F)	(S,F)	(S,F)
LP1 :4(S)	(S,F)	(S,S)	I	(S,S)	(S,F)	(S,F)	(S,F)	(S,F)
LP1 :5(S)	(S,F)	(S,S)	(S,S)	I	(S,F)	(S,F)	(S,F)	(S,F)
LP1 :6(F)	(F,F)	(F,S)	(F,S)	(F,S)	I	(F,F)	(F,F)	(F,F)
LP1 :7(F)	(F,F)	(F,S)	(F,S)	(F,S)	(F,F)	I	(F,F)	(F,F)
LP1 :8(F)	(F,F)	(F,S)	(F,S)	(F,S)	(F,F)	(F,F)	I	(F,F)
LP1 :9(F)	(F,F)	(F,S)	(F,S)	(F,S)	(F,F)	(F,F)	(F,F)	(F,F)

Tableau 3.8 – Les combinaisons possible des différents systèmes (visage, voix) du protocole LP2.

Combinaisons	LP2 :1(F)	LP2 :2(S)	LP2 :3(S)	LP2 :4(S)	LP2 :5(S)
LP2 :1(F)	I	(F,S)	(F,S)	(F,S)	(F,S)
LP2 :2(S)	(S,F)	I	(S,S)	(S,S)	(S,S)
LP2 :3(S)	(S,F)	(S,S)	I	(S,S)	(S,S)
LP2 :4(S)	(S,F)	(S,S)	(S,S)	I	(S,S)
LP2 :5(S)	(S,F)	(S,S)	(S,S)	(S,S)	I

Figure 3.8(a, b), Figure 3.8(c, d), et Figure 3.8(e, f) correspondent, respectivement, à l'utilisation de modalités d'empreintes digitales, de visage et de voix pour un système monodal. A partir de ces figures, il apparaît clairement que, si les méthodes globales ne sont pas affectées par le système baseline, les alternatives spécifiques à l'utilisateur voient une amélioration de leur précision, plus particulièrement l'approche proposée qui est assez intéressante dans un contexte d'un système mono-modale.

- Figure 3.9 : L'ensemble des six courbes illustrées dans la Figure 3.9(a-f) évalue l'impact de la normalisation dans le contexte de fusion de deux modalités (bimodale) par une simple sommation. On peut voir que, comparés au cas mono-modal précédent, les techniques globales présentent une légère amélioration. Encore une fois, l'approche proposée est généralement plus précise, que ce soit par rapport aux configurations globales ou spécifiques à l'utilisateur. Le gain de la technique multimodale par rapport à l'alternative mono-modal vient du fait que chaque modalité exploitée produit des scores qui sont décorrélés avec ceux des autres modalités impliquées. Dans le schéma multi-modale, certaines combinaisons de modalités fournissent une perfor-

mance supérieure à d'autres, comme dans le cas de l'empreinte et la voix par rapport à l'empreinte et le visage, en raison du fait que les scores des modalités dans le premier sont plus décorrélés que dans le second.

- Figure 3.10 : Les deux Figures 3.10(a et b) correspondent à la performance obtenue avec des approches globales et spécifiques à l'utilisateur dans le cadre de fusion multi-modal à sommation simple, englobant les trois modalités susmentionnées (empreinte, visage, et voix). Ceux-ci montrent également la plus grande précision des méthodes proposées. De même, il est également confirmé que le recours à un nombre plus élevé de modalités dans la fusion permet d'améliorer les performances, plus particulièrement lors de la fusion des plus décorrélées, ce qui entraîne une augmentation de la précision.

En résumé, l'efficacité des approches, basées sur le LOPCOP-norm, par rapport à d'autres alternatives a été confirmée, plus particulièrement lors de l'exploitation de la méthode de normalisation des scores proposée dans un contexte multi-modal pour les clients et les imposteurs avec un dimensionnement uniforme intraclasse.

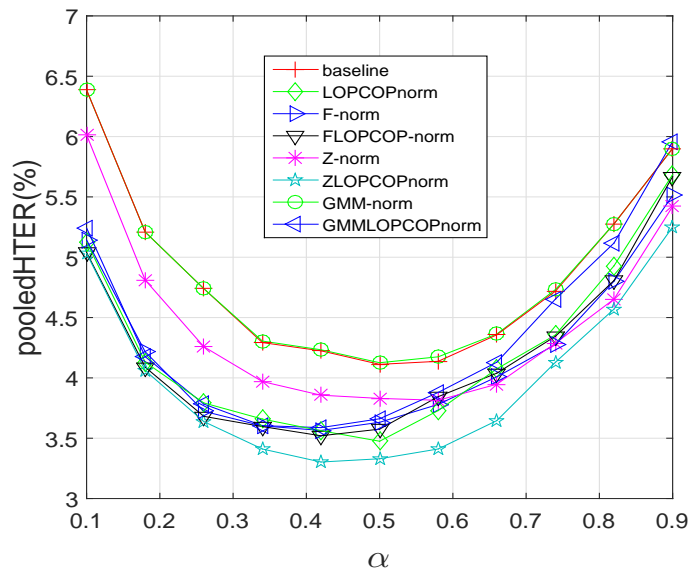
3.3.3 Imposteurs avec dimensionnement intraclasse uniforme

- Figure 3.11 : Cinq sous-figures, chacune appartenant à une méthode de normalisation de score différente, sont illustrées pour étudier l'effet de l'augmentation du nombre de modalités impliquées dans un cadre de fusion multimodale. Un maximum de huit modalités est d'intérêt. Comme on peut le voir sur la Figure 3.11(a) correspondant à la sélection de la technique Min-Max, plus le nombre de modalités utilisées dans le cadre de fusion à somme simple est élevé, meilleure est la précision. Une remarque similaire est valable pour le Z-score, le Tanh, le QQ et la LOPCOP-norm proposée, comme le montre les Figures 3.11(b, c, d, e).
- Figures 3.12 & 3.13 : Contiennent un ensemble de huit sous-figures où nous regroupons les approches dans la même étude en fonction du nombre de modalité. De la Figure 3.12(a) à la Figure 3.13(h), il peut être observer que toutes les approches qui sont dans cette étude sont autour d'une limite de précision. Dans les Figures 3.12(c, d) et les Figures 3.13(f, g, h), l'approche LOPCOP-norm fournit des performances légèrement meilleures que les méthodes de normalisation globale.

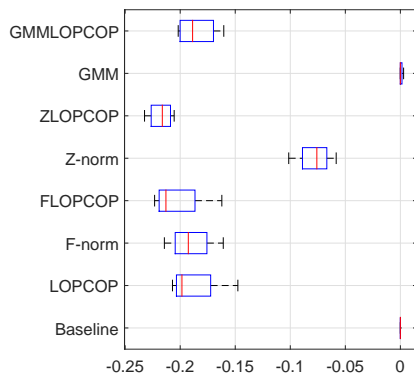
À partir de l'étude réalisée sur l'application de la fusion multi-modal sur notre approche proposée, à travers les résultats des tests issus des benchmarks XM2VTS, NIST 2005 et Biosecure DS2, il est souligné que la LOPCOP-norm apporte une nette amélioration sur le plan de performance et de stabilité. Les améliorations de performance et de stabilité qui en résultent sont dues aux capacités susmentionnées de LOPCOP-norm pour réduire l'effet des valeurs aberrantes.

4 Conclusion

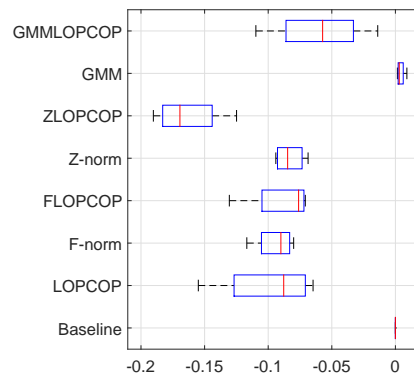
Le point culminant mis en valeur dans ce chapitre est l'aspect comparatif de l'approche proposée avec d'autres méthodes, à savoir la F-norm, la Z-norm et la GMM-norm, selon différents scénarios. Le premier scénario concerne l'effet de l'espace de projection impliqué, le second étudie le gain de performance en combinant différentes approches, le troisième étudie l'effet de la taille des échantillons et enfin le quatrième évalue l'impact du dimensionnement uniforme pour les différents cas suivant : les clients et les imposteurs, ou les clients et enfin les imposteurs seulement. Des tests de stabilité ont également révélé que l'approche proposée est plus stable soit seule soit en projetant sur d'autres espaces tels que la FLOPCOP-norm et la ZLOPCOP-norm. Il a été démontré que la nouvelle approche était tout à fait intéressante pour améliorer la précision dans les cadres biométriques monomodaux ou multimodaux, en atténuant l'impact des valeurs aberrantes. Avec l'augmentation du nombre de modalités impliquées dans la fusion, la performance de la méthode proposée a été significativement améliorée.



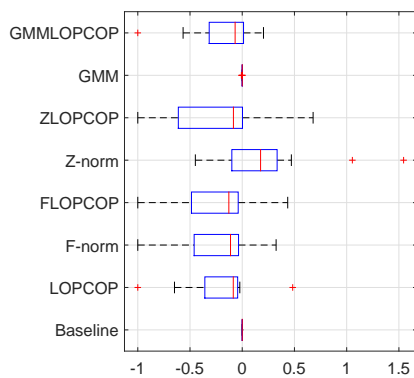
(a)



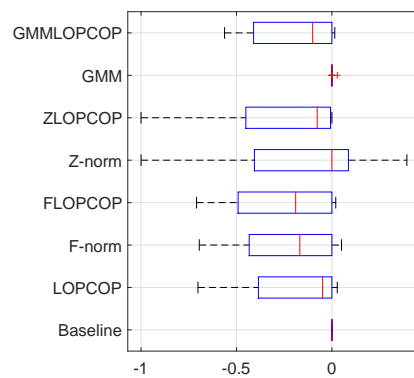
(b)



(c)



(d)



(e)

Figure 3.2 – Étude de l'effet d'espace sur l'ensemble de données de XM2VTS, a) Graphe epc pour HTER regroupée avec différents points de fonctionnement $\alpha = 0.1$ à 0.9 , b) Erreur Relative Faux Rejet pour ensemble de points de fonctionnement $\alpha < 0.5$, c) Erreur Relative de Fausse Acceptation pour ensemble de points disfonctionnement $\alpha > 0.5$, d). Faux Non Matching Taux (FNMR) relatif au faux Match taux (FMR) relatif égale à 0.01% et, e) Faux Non-Matching Taux (FNMR) relatif au Taux Faux Matching (FMR) relatif égal 0.1% .

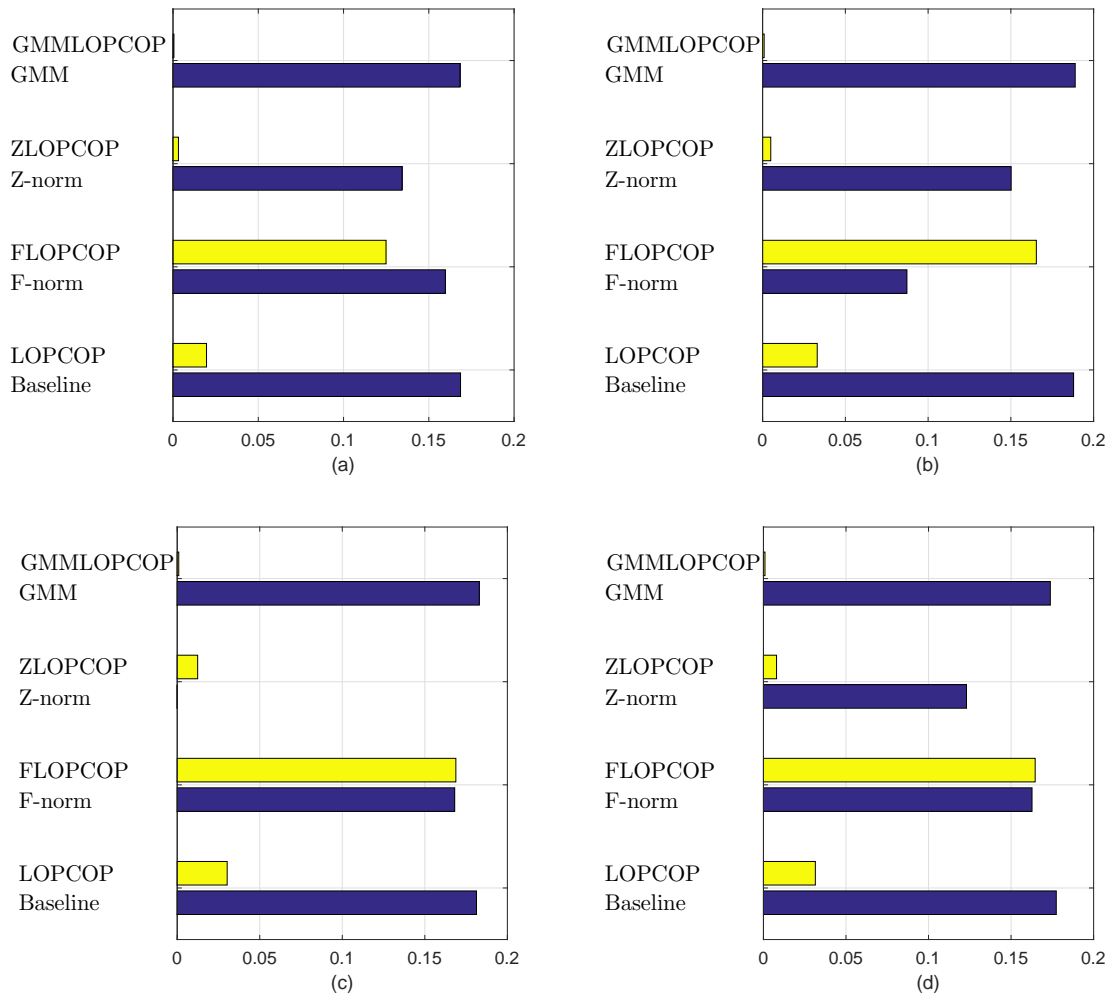


Figure 3.3 – La Moyenne de l'écart-type de (a) Intra-Variance-Clients de l'ensemble de développement, (b) Intra-Variance-Clients de l'ensemble de l'évaluation, (c) Intra-Variance-imposteurs de l'ensemble données developpement, (d) Intra-Variance-imposteurs de l'ensemble de l'évaluation, de la base donnée score XM2VTS.

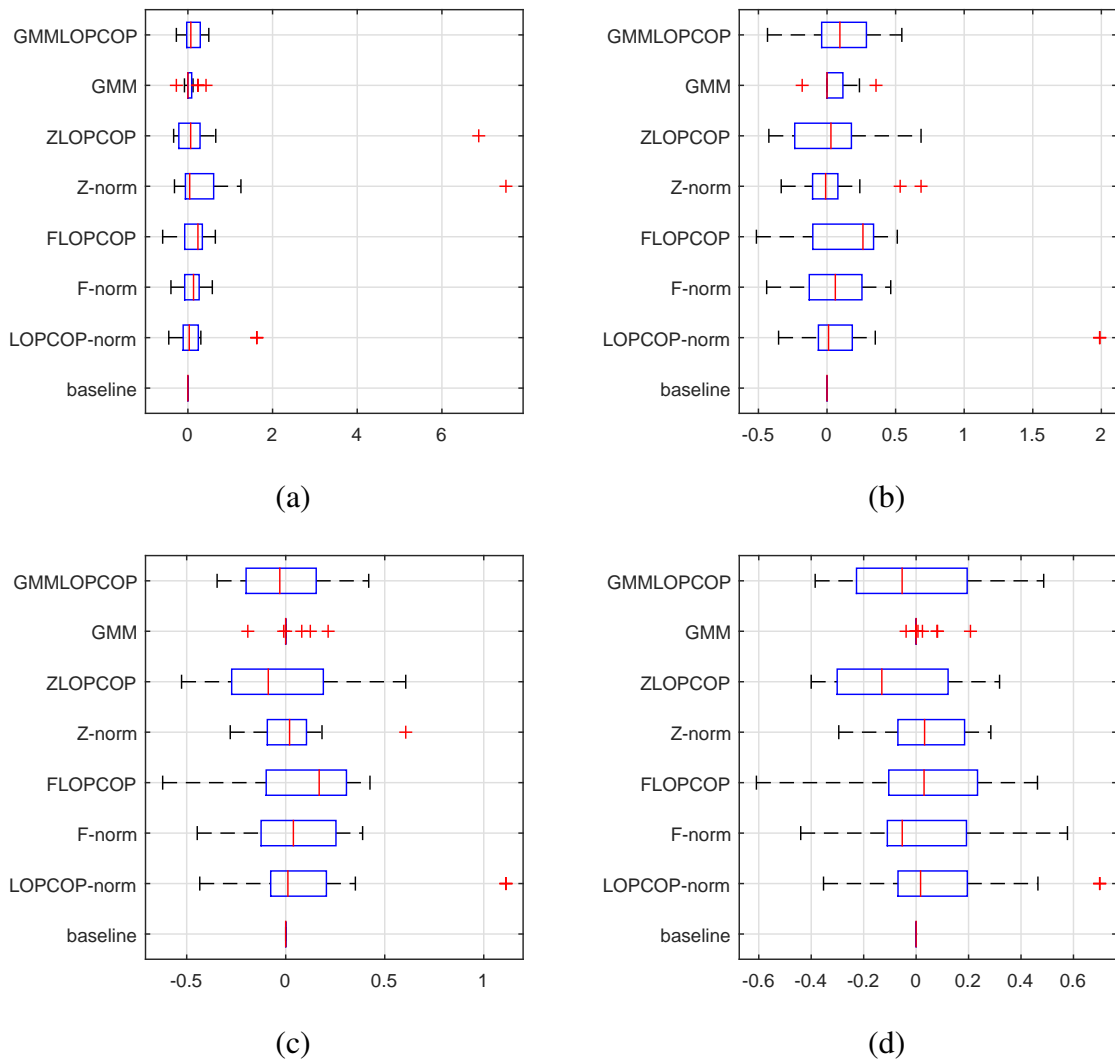


Figure 3.4 – False Non-Match Rate ($FNMR$) relatif au False Match Rate (FMR) relatif égale à 0.01% pour différente taille des scores des utilisateurs pour la base donnée score Nist2005 : (a) 3 échantillons, (b) 4 échantillons, (c) 5 échantillons, (d) 6 échantillons

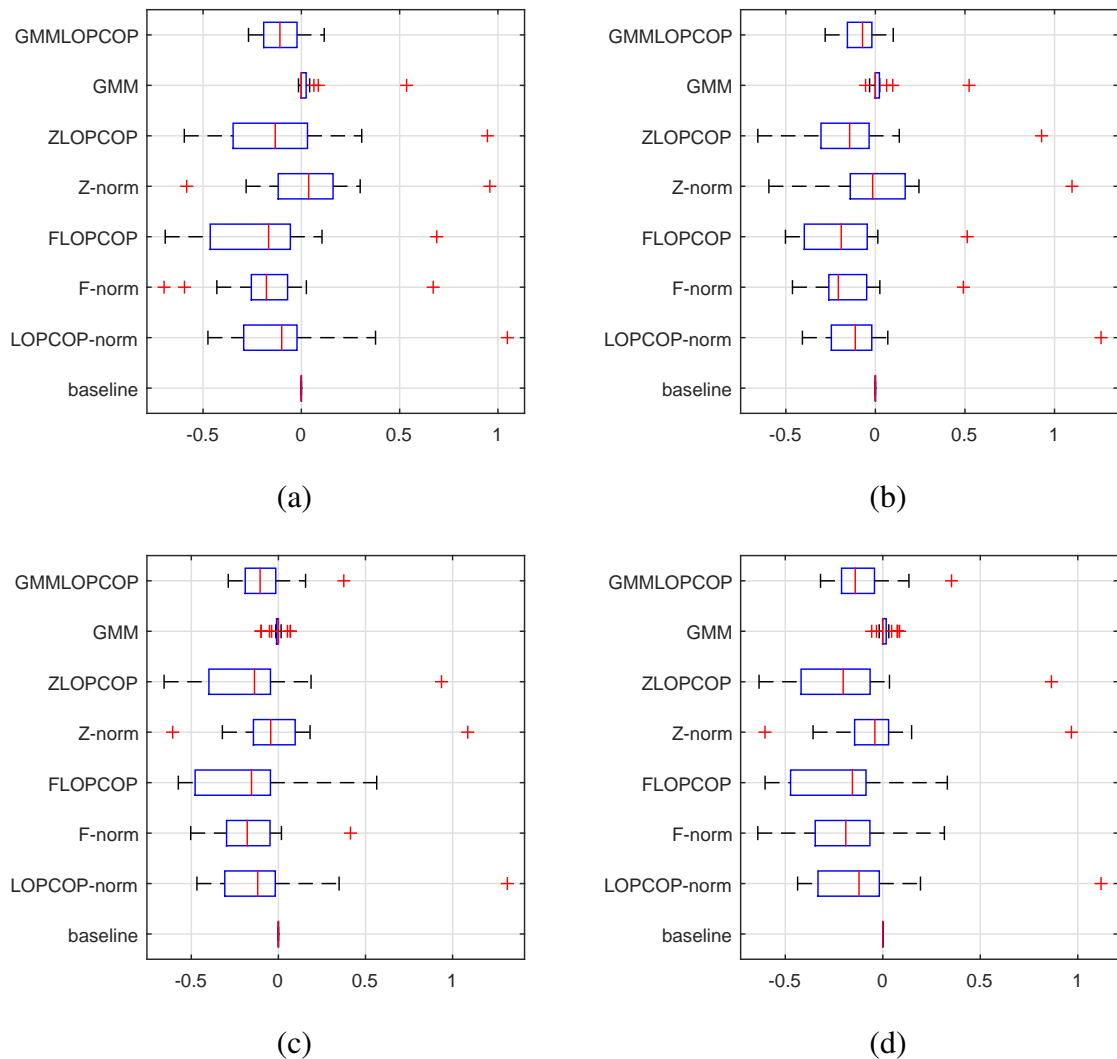


Figure 3.5 – False Non-Match Rate ($FNMR$) relatif au False Match Rate (FMR) relative égale à 0.1% pour différente taille des scores utilisateurs pour la base données score Nist2005 : (a) 3 échantillons, (b) 4 échantillons, (c) 5 échantillons, (d) 6 échantillons

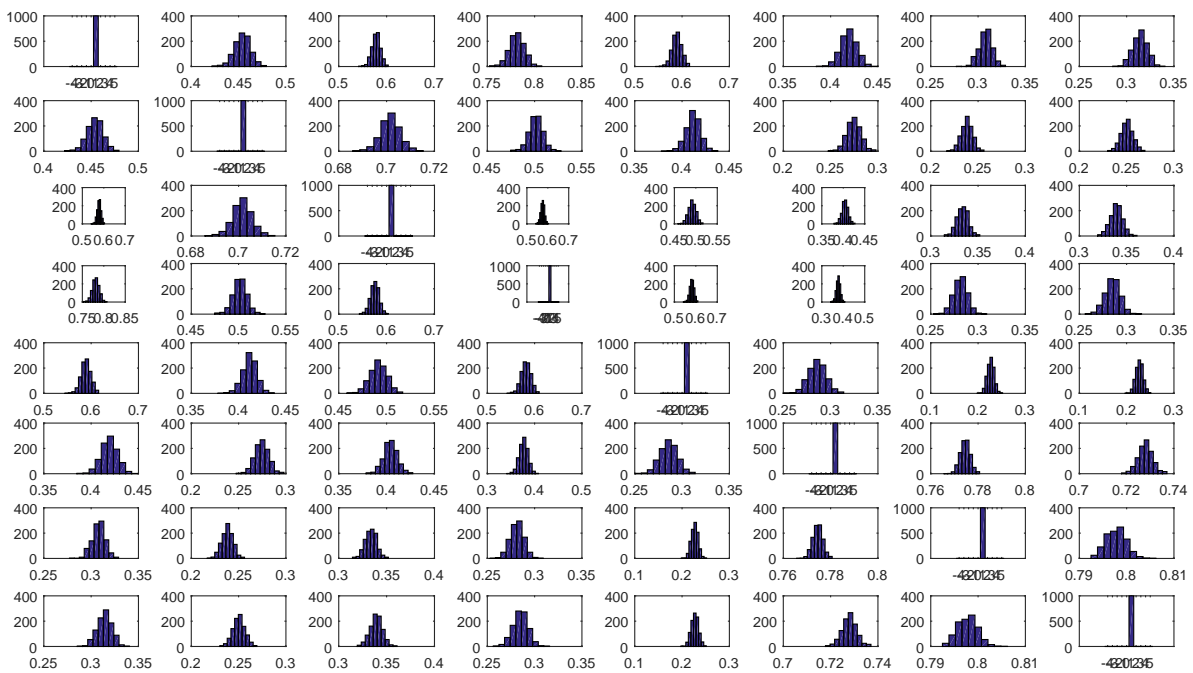


Figure 3.6 – Corrélation entre les différents systèmes biométriques de la base de données score XM2VTS pour le protocole LP1 avec les modalités (visage, voix).

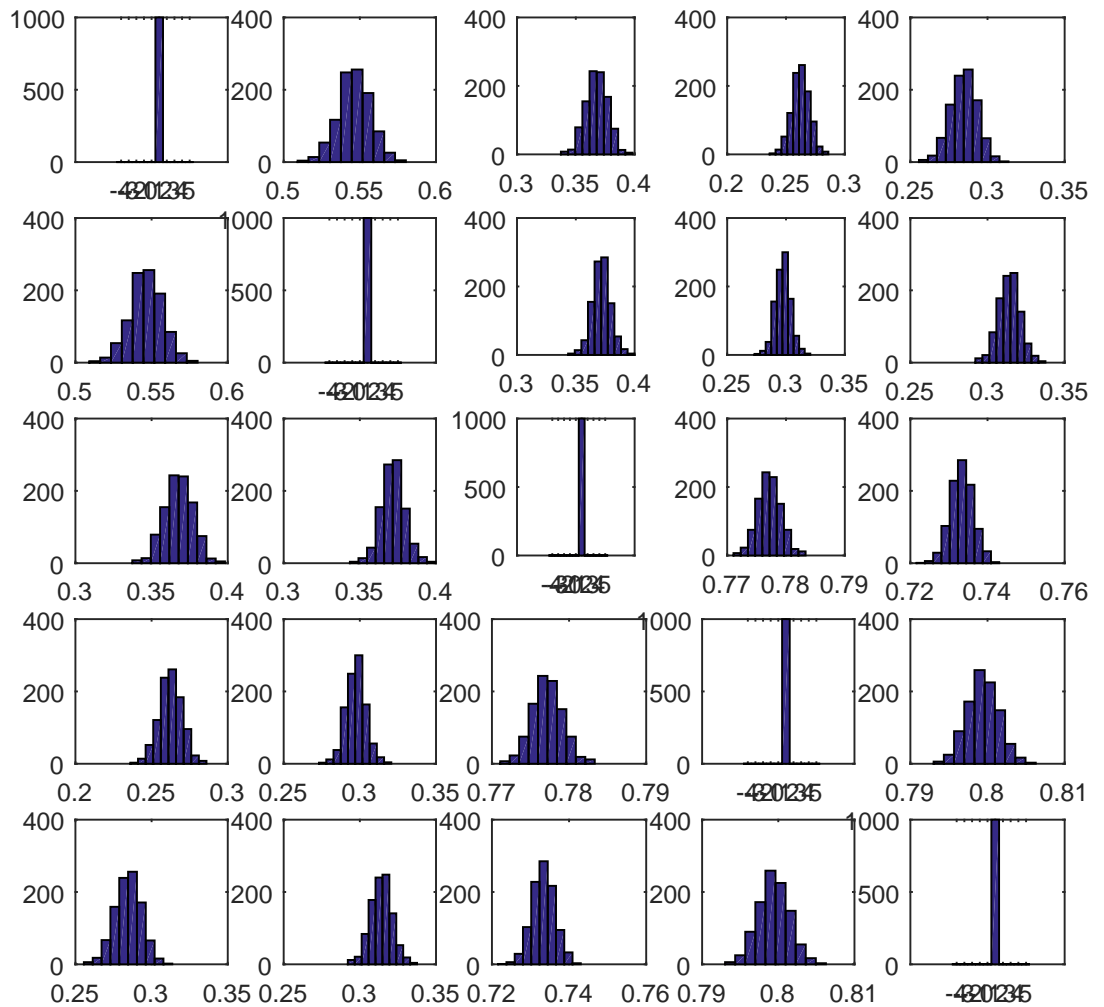


Figure 3.7 – Corrélation entre les différents systèmes biométriques de la base de données score XM2VTS pour le protocole LP2 avec les modalités (visage, voix).

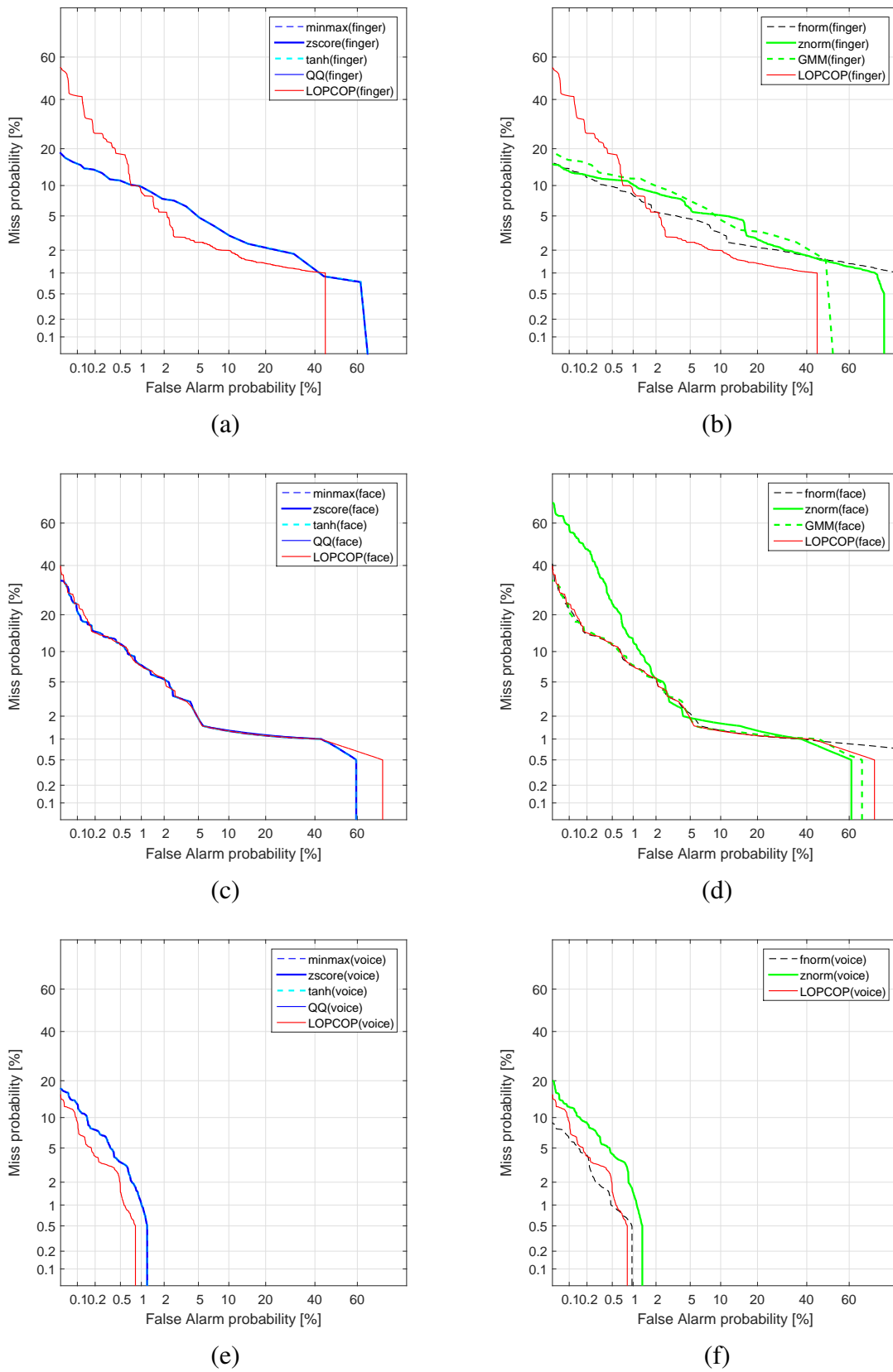


Figure 3.8 – DET de différentes approches de normalisation de scores (globale et spécifique à l'utilisateur) avec différentes modalités dans un contexte mono-modale, à partir d'empreintes digitales (a, b), face (c, d) et voix (e, f).

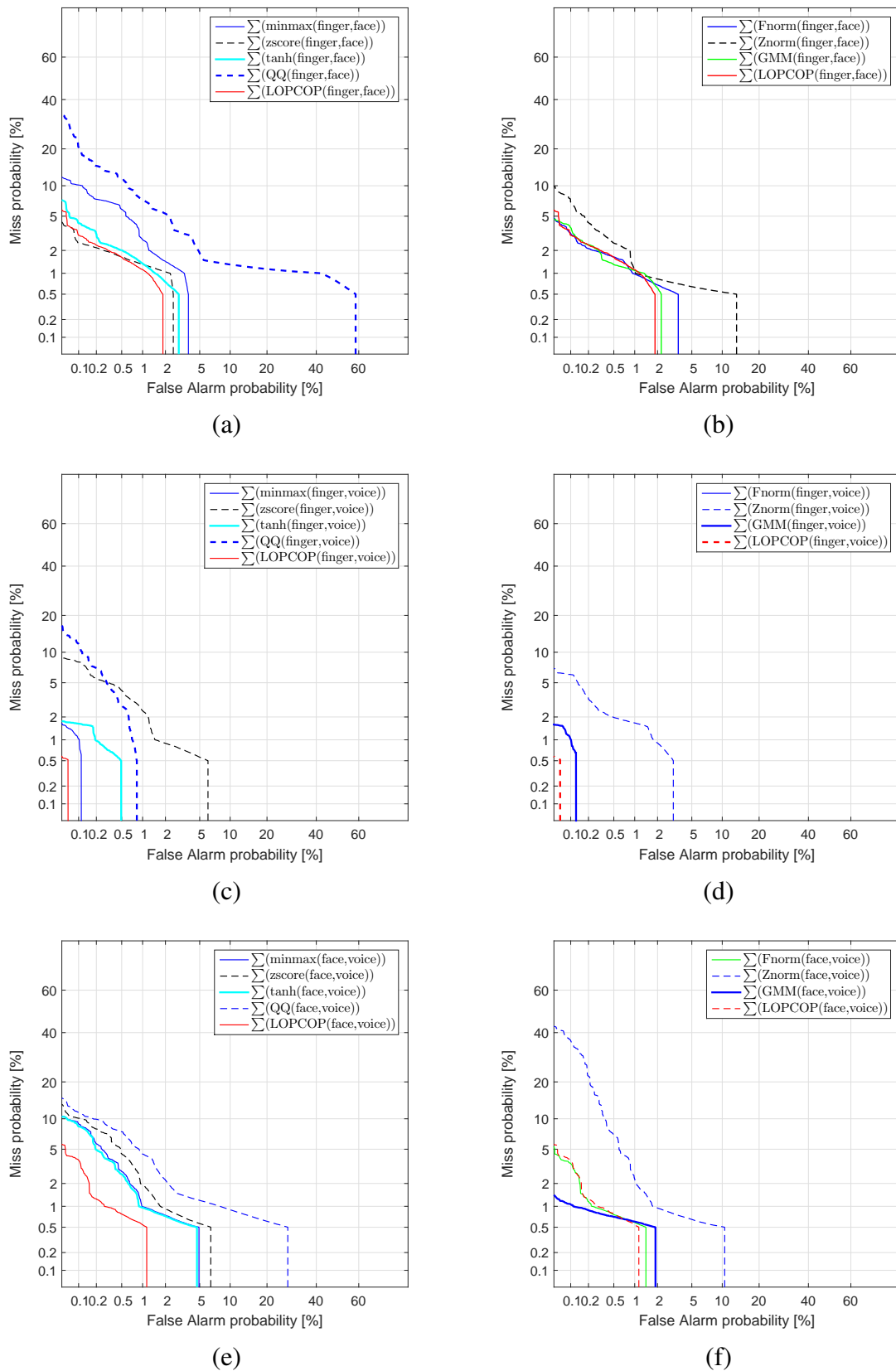


Figure 3.9 – DET de différentes approches de normalisation de scores avec des modalités différentes dans un contexte de fusion par la sommation simple de système bi-modal, à partir de (empreinte, visage) dans (a, b), (empreinte, voix) en (c, d) et (visage, voix) dans (e, f).

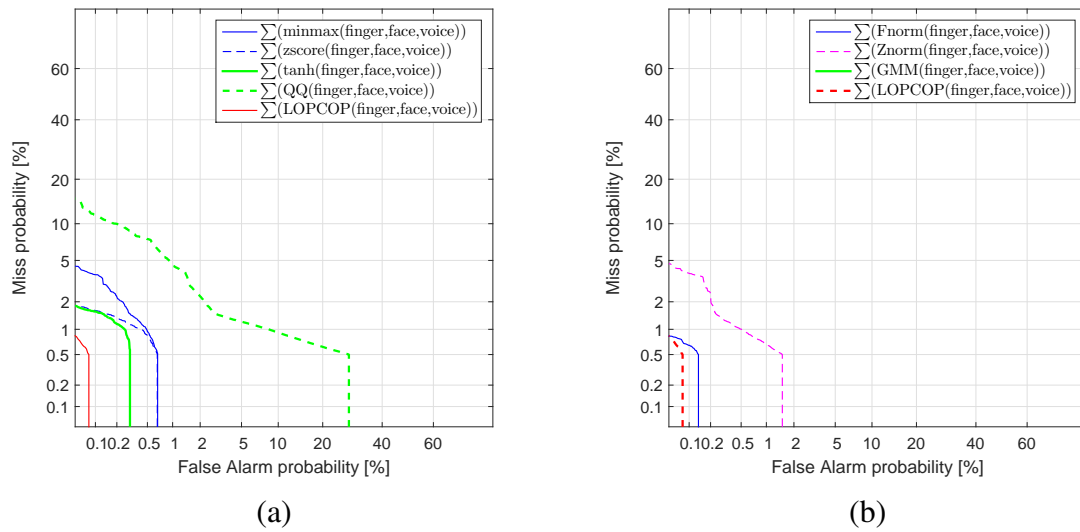


Figure 3.10 – DET de différentes approches de normalisation de score avec des modalités différentes dans un contexte de fusion tri-modal par la sommation simple. Nous comparons notre proposition avec des techniques globales dans (a) et avec des techniques spécifiques à l'utilisateur au point b.

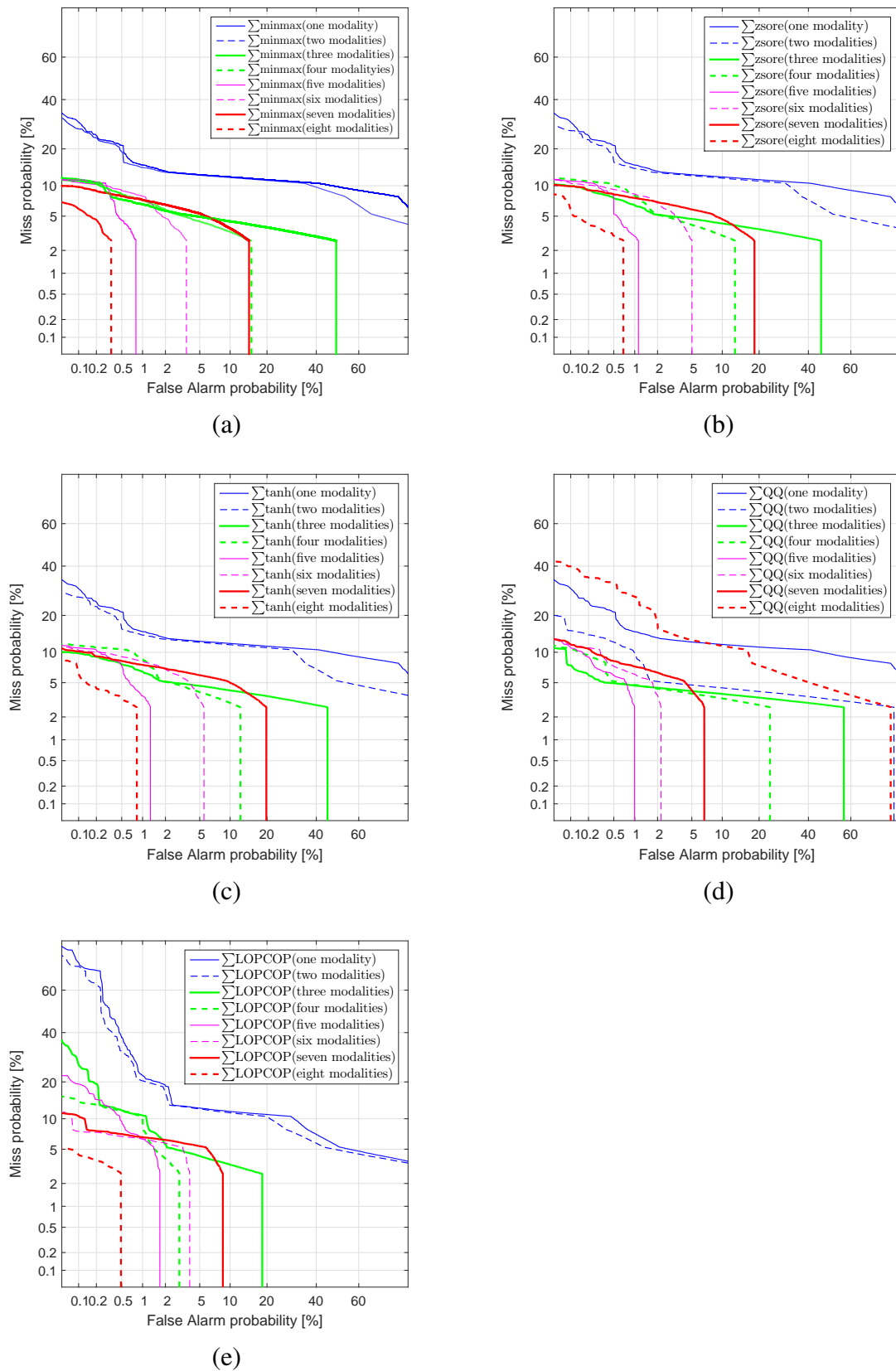


Figure 3.11 – DET de différentes approches de normalisation en fonction du nombre de modalités différentes (un à huit) dans un contexte de fusion multimodale par la sommation simple.

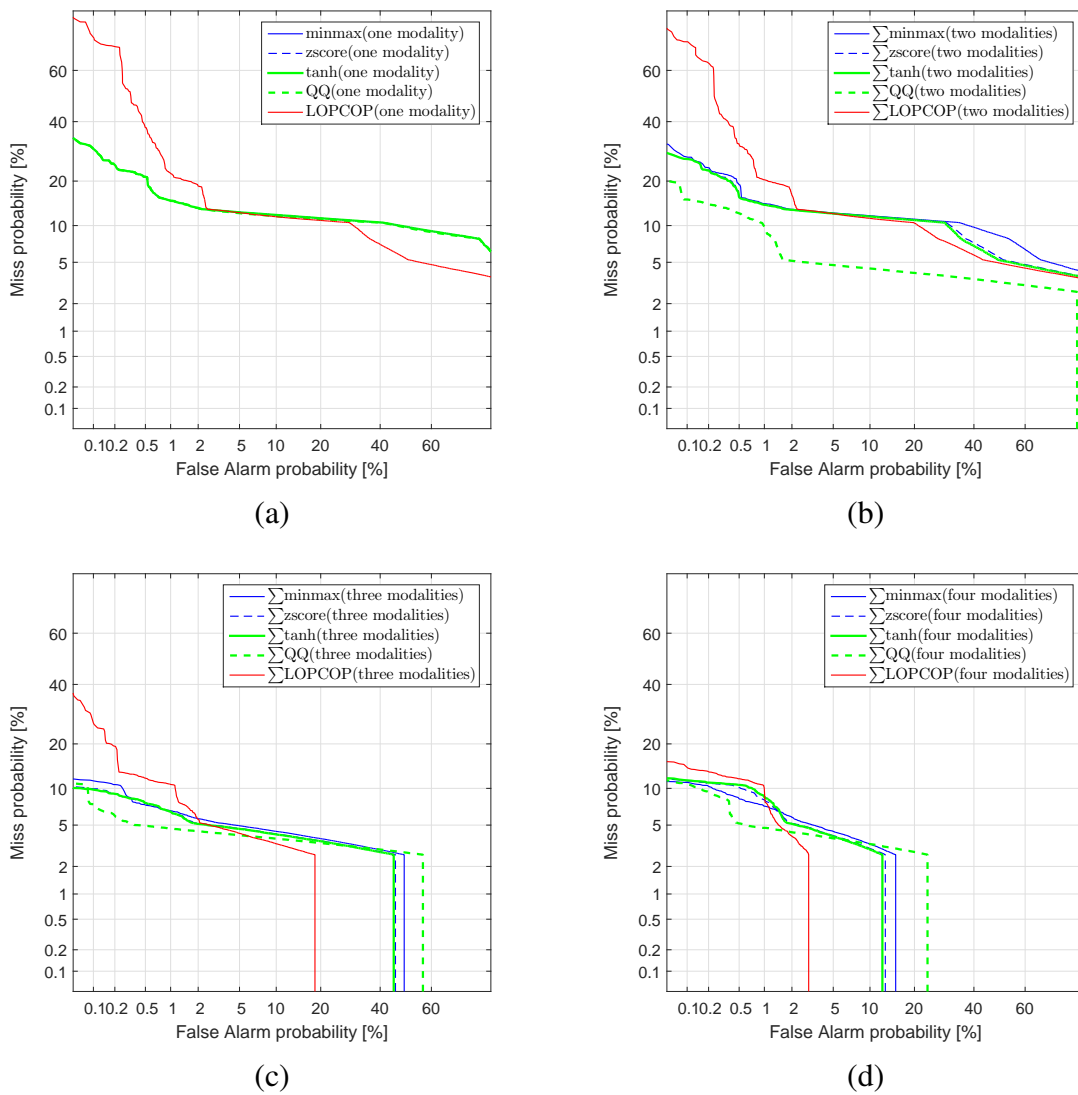


Figure 3.12 – DET de différentes comparaisons d'approches de normalisation de score en fonction du nombre de modalités dans un contexte de fusion multimodale (un à quatre) par la sommation simple.

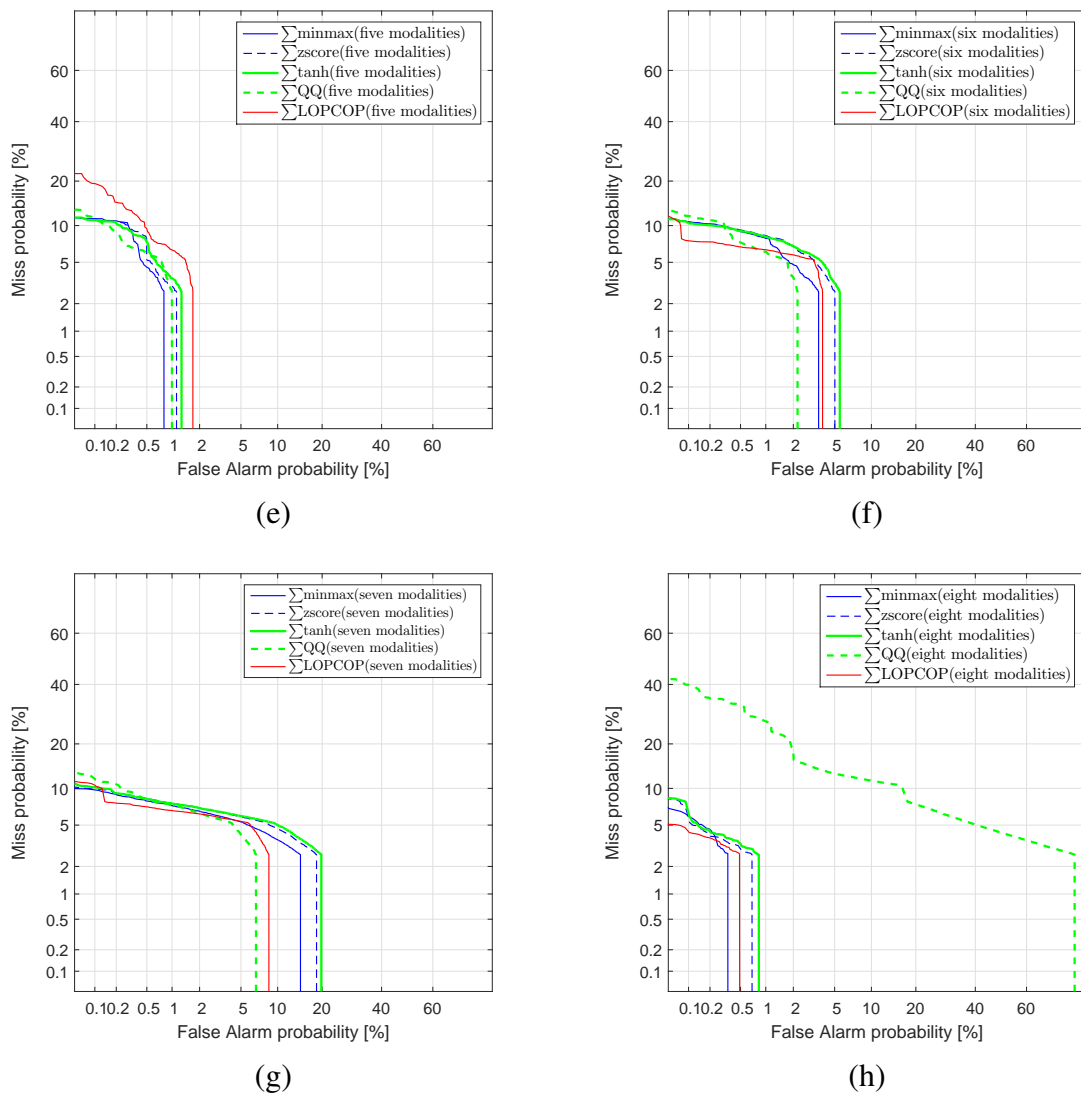


Figure 3.13 – DET de différentes comparaisons d'approches de normalisation score en fonction du nombre de modalités dans un contexte de fusion multimodale (cinq à huit) par sommation simple.

CHAPITRE 4

Adoption et analyse d'approche de fusion OWA de multitaillers pour une application de contrôle biométrique distant sans fil

1 Introduction

Dans ce chapitre, il est question de traiter l'aspect de la communication sans fil dédié à la biométrie (télésurveillance). Au début, on donne un bref aperçu historique sur les réseaux de communication sans fil avec leurs technologies, standards et applications. Puis on décrira le mode de communication traité dans cette thèse avec une nouvelle approche dédiée à l'amélioration de la capacité du canal de transmission.

La communication sans fil (wireless communication) a vu le jour vers les années 80 avec l'arrivée de la 1G (première génération), dont le standard MPS aux USA et le Japon, ayant pour application téléphonique vocale en analogique. Vers les années 90, il y eut l'avènement de la 2G avec les standards (GSM, GPRS, EDGE) pour la bande étroite (narrow bande), parmi les applications, on y trouve le SMS. Cette technologie était à débit inférieur à 80 kb/s. La 3G est venue avec les standards (UMTS, HSPA) en numérique à bande large (browed band) où le débit est à 2Mb/s, on y trouve des applications comme la navigation internet (browning), la télévision sur mobiles, la messagerie multimédia (vidéo et audio). Vers les années 2010, il y a eu l'avènement de la 4G avec les standards (LTE, LTE Advanced) (Long

Term Evolution), où la bande est de 5 MHz avec un débit de 100Mb/s en numérique et qui équivaut à la DSL. La 4G est basée sur le standard UMTS de la 3G. Parmi les applications qui ont vu le jour par cette technologie on cite le "Multimedia broadcast", les jeux vidéo, le "Net over Cloud" et le "multicast services". La technologie LTE vise plusieurs nouveautés comme la mobilité, l'augmentation consistante de la capacité en usagers dans une bande de 5Mhz, et le rayonnement de couverture est supérieur à 30Km.

2 Les objectifs de la technologie LTE

L'existence des phénomènes physiques caractérisant un canal de transmission à savoir la réflexion du signal sur un obstacle, la diffraction due à un obstacle et la réfraction du signal lorsque celui-ci traverse un milieu d'indice différent de celui d'où il provient, ont engendré le problème d'évanouissement de l'onde et de multi-trajets (voir Figures 4.1 et 4.2), ainsi la non-réception ou la distorsion de cette dernière. Des solutions apportées pour remédier à ce genre de handicap sont celles de l'utilisation de la diversité. Cette dernière, peut-être une diversité spatiale, temporelle ou encore fréquentielle ou leur combinaison. Pour la diversité spatiale, la configuration de type MIMO suppose l'existence de plusieurs antennes en transmission et plusieurs en réception, avec un écart adéquat spatial entre les antennes. En ce qui concerne, la diversité fréquentielle, la modulation utilisée est de type multiporteuses comme l'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). L'OFDM est un cas particulier de transmission multi-porteuse, où un seul flux de données est transmis sur un certain nombre de sous-porteuses à débit plus faible. Il convient de mentionner ici que l'OFDM peut être considérée soit comme une technique de modulation, soit comme une technique de multiplexage. L'une des principales raisons d'utiliser l'OFDM est d'augmenter la robustesse par rapport aux évanouissements sélectifs en fréquence ou aux interférences à bande étroite. La troisième est celle de la diversité temporelle où le signal est transmis plusieurs fois avec un décalage temporel où l'efficacité de cette diversité est intéressante lors de l'existence d'un degré d'indépendance (décorrélation). Dans le cadre applicatif pour la thèse, le système exploité est de type MIMO avec une modulation OFDM.

Comme on peut l'observer sur la Figure 4.3, l'effet du multi-trajets dans le domaine temporel (Inter-Symbol Interférence ou ISI) et le domaine fréquentiel (évanouissement fréquentiel sélectif). Les deux effets sont pris en considération par la technologie LTE en introduisant des



Figure 4.1 – Le problème du multi-trajets dans une communication sans fil.

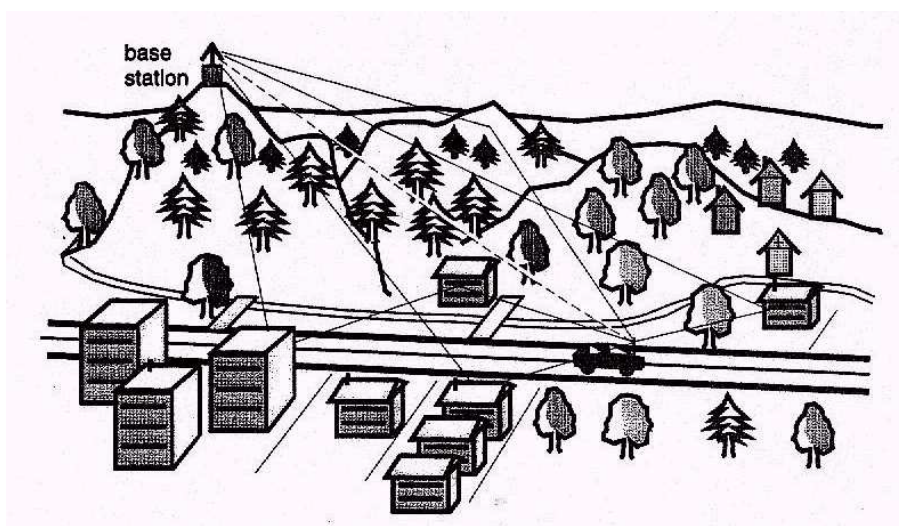


Figure 4.2 – Le problème du multi-trajets dans une communication sans fil.

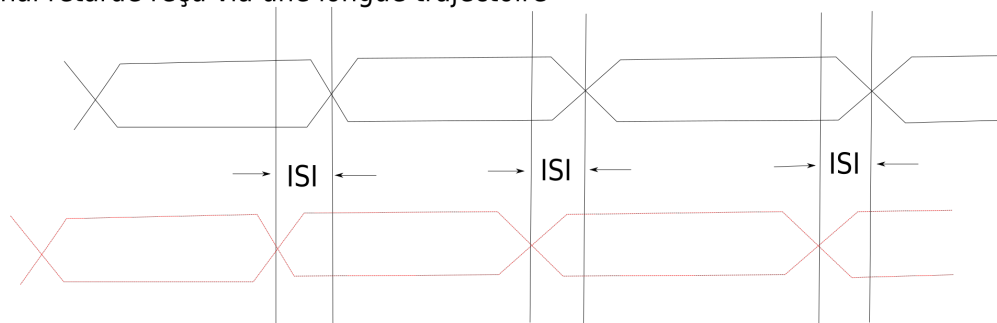
techniques de transmission à savoir l'OFDM et de technologie d'antennes de type MIMO.

3 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

Le multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (OFDM) est une technologie de modulation et de multiplexage largement utilisée, qui constitue aujourd'hui la base de nombreuses normes de télécommunications, notamment les réseaux locaux sans fil, la télévision numérique terrestre et la radiodiffusion numérique dans une grande partie du monde. L'OFDM est également la base de la plupart des normes DSL, bien que dans ce

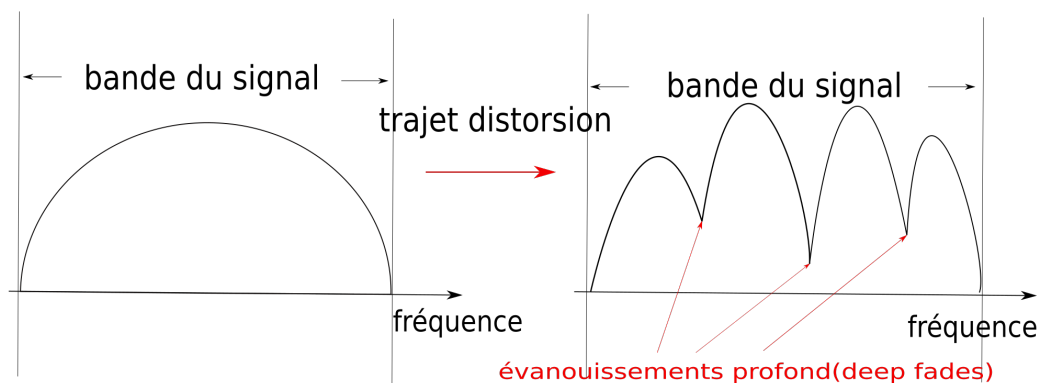
Effet du multi-trajets dans le domaine temporel Inter-Symbol Interférence (ISI)

le signal retardé reçu via une longue trajectoire



le signal reçu via une trajectoire directe

Effet du multi-trajets dans le domaine fréquentiel évanouissement fréquentiel sélectif



Signal transmis avec une seule porteuse

signal reçu et distordu par effet
d'évanouissement sélectif de
fréquences

Figure 4.3 – ISI et l'évanouissement sélectif fréquentiel.



Figure 4.4 – Données transportées sous la forme d'un ensemble de paquets.

contexte, il est généralement appelé discret multitone (DMT) en raison de certaines particularités mineures.

Le multiplexage par répartition en fréquence (FDM) est une technique dans laquelle le signal principal à transmettre est divisé en un ensemble de signaux indépendants, appelés sous-porteuses dans le domaine fréquentiel. Ainsi, le flux de données original est divisé en plusieurs flux (ou canaux) parallèles, un pour chaque sous-porteuse. Chaque sous-porteuse est ensuite modulée avec un schéma de modulation conventionnelle, puis elles sont combinées ensemble pour créer le signal FDM.

Dans une transmission FDM, le récepteur doit être capable de récupérer indépendamment chacun des sous-porteuses et, par conséquent, ces signaux doivent remplir certaines conditions. Par exemple, ils peuvent avoir des spectres non-chevauchants de sorte qu'un banc de filtres accordés à chacune des sous-porteuses, peut les récupérer indépendamment. Cependant, les filtres pratiques nécessitent des bandes de garde entre les bandes de sous-porteuses et, par conséquent, l'efficacité spectrale résultante est faible.

Si les signaux de la sous-porteuse remplissent la condition d'orthogonalité, leurs spectres peuvent se chevaucher, améliorant ainsi l'efficacité spectrale. Cette technique est connue sous le nom de FDM orthogonal ou OFDM.

Pour voir les principaux avantages offerts par l'OFDM, il est utile de penser à un ensemble de paquets transportés dans un camion. L'ensemble des paquets peut être transporté par un gros camion ou par plusieurs plus petits, comme la montre la Fig. 4.4

Supposons que chaque petit camion utilise une route différente, où chaque chemin disponible a la même longueur et tous les camions conduisent à la même vitesse. Si un accident survient sur l'une des routes et qu'il est bloqué, une partie des paquets ne sera pas reçue avec le reste à destination. D'un autre côté, si tous les paquets sont transportés par un gros camion qui roule sur la même route que celle où l'accident se produit, toute l'expédition sera

bloquée et n'arrivera pas à destination.

Pour une transmission de signal OFDM, chaque petit camion représente une sous-porteuse et les routes où les données vont être transportées sont une analogie des différentes fréquences auxquelles chaque sous-porteuse va être transmise. De plus, chaque paquet contenant des biens représente la partie modulée des données à porter par une sous-porteuse, appelé un symbole d'information.

Tout en continuant avec l'analogie, il devrait être plus difficile de conduire un gros camion qu'un plus petit, ce qui signifie que les dégradations de transmission auront un plus grand impact sur le signal de porteuse unique puisque, dans le cas de la transmission, il devra être transmis avec un débit de données plus élevé.

D'un autre côté, pour une entreprise de transports, il est plus coûteux de contracter N petits camions qu'un gros. Dans le cas de la transmission, cela équivaut à la différence entre l'utilisation de N ensembles émetteurs-récepteurs et l'utilisation d'un seul de grande puissance.

Soit une séquence de bits avec le taux R , parallélisé sur N canaux différents, chacun avec une fréquence différente. Le débit total est réparti en parties égales sur chaque canal à un débit $\frac{R}{N}$. Les données de chaque canal seront mappées pour représenter un symbole d'information comme le montre la Figure 4.7, puis multipliées par la fréquence correspondante. La sommation de ces symboles d'information parallèles formera un symbole OFDM. La Figure 4.8 représente un simple exemple de création de symboles à partir d'un codage 8bits de données à mapper.

Chaque symbole OFDM a donc une durée $T_s = \frac{N}{R}$. Ainsi, le signal OFDM dans le domaine temporel $s(t)$ peut être exprimé comme une sommation de chaque symbole d'information $C_{i,k}$ porté dans la k ème sous-porteuse à l'intérieur du i ème symbole OFDM. Selon la modulation utilisée pour les sous-porteuses, cette superposition de sous-porteuses formant $s(t)$ peut aboutir à des valeurs complexes, bien que ce cas ne soit pas encore pris en compte. Puis, avec le symbole OFDM ayant une période T_s :

$$s(t) = \Re\left\{\sum_{i=-\infty}^{+\infty} \sum_{k=0}^{N-1} C_{i,k} \cdot e^{j2\pi f_k t} \cdot r(t-iT_s)\right\} \quad (4.1)$$

Lorsque $P(t)$ est une impulsion carrée idéale de longueur T_s , le nombre de sous-porteuses est représenté par N et la fréquence de sous-porteuse f_s . Cette fréquence doit obéir à la

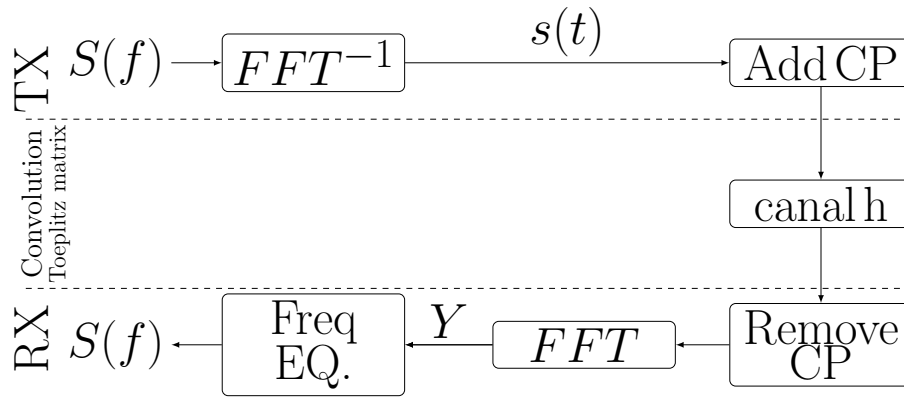


Figure 4.5 – Schéma blocs d'une modulation OFDM.

condition d'orthogonalité :

$$f_k = k \cdot \frac{1}{T_s} \quad (4.2)$$

Cela signifie que chaque sous-porteuse doit être séparée de ses voisins par exactement $\frac{1}{T_s}$, de sorte que chaque sous-porteuse dans un symbole OFDM a exactement un nombre entier de cycles dans l'intervalle T_s , et le nombre de cycles diffère de "un", comme le montre la Figure 4.6. De cette façon, l'orthogonalité entre sous-porteuses est atteinte.

La Figure 4.5 représente un système de diversité capable pour des courts portée à réduire l'évanouissement de l'onde par l'envoi du signal en multi-bandes de fréquences, où cette dernière, est mise en pratique par la transformée de Fourier inverse ($IFFT$) pour la transmission et la transformé de fourier (FFT) pour la réception. Cette FFT est la pièce maîtresse de l'OFDM. L'ajout d'un préfixe cyclique, permet la transformation de la matrice Toeplitz en Circulante qui diagonalise dans une base indépendante du canal. Il est à noter que chaque bloc de signal avec la porteuse associée, on lui correspond un préfixe cyclique CP . Ses porteuses sont orthogonales deux à deux.

4 La communication Multiple-Input-Multiple-Output (MIMO)

La communication numérique utilisant des systèmes MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) est l'une des percées techniques les plus significatives dans la communication sans fil. Les systèmes MIMO sont simplement définis comme des systèmes contenant plusieurs antennes d'émission et plusieurs antennes de réception (voir Figure 4.10, Figure 4.11, Figure 4.12). Les théories de la communication montrent que des systèmes MIMO peuvent

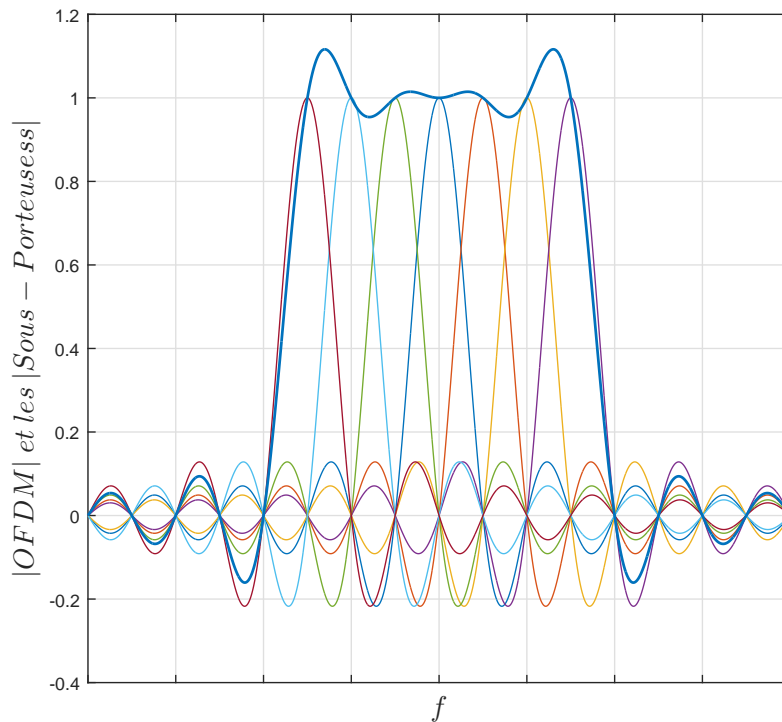


Figure 4.6 – Spectre des sous-porteuses et de leur superposition spectrale (spectre de la modulation OFDM).

fournir une capacité potentiellement très élevée qui, dans de nombreux cas, croît en fonction du nombre d'antennes. Récemment, les systèmes MIMO ont déjà été mis en oeuvre dans des systèmes de communication sans fil, en particulier dans les LAN sans fil (Local Area Networks) [92], [93], [94]. Différentes structures de systèmes MIMO ont également été proposées par des organisations industrielles dans les standardisations du projet de partenariat de troisième génération (3GPP), notamment les structures proposées dans [95], [96], [97], [98]. L'idée maîtresse des systèmes MIMO est la possibilité de transformer la propagation par trajets multiples, qui constitue généralement un obstacle dans la communication sans fil conventionnelle, en un avantage pour les utilisateurs. La principale caractéristique des systèmes MIMO est le traitement spatio-temporel.

Par l'introduction de la diversité fréquentielle dans la transmission sans fil d'un signal biométrique, le signal spectral multibande est rendu un signal continue par l'application de la transformation de Fourier inverse $IFFT$, accompagné par une porte de lissage. Où cette dernière, fait passer le signal de l'état temporel discret en un signal temporel continue qui à son tour est diffusé/transmis à travers une antenne ou multitude d'antennes comme le cas de

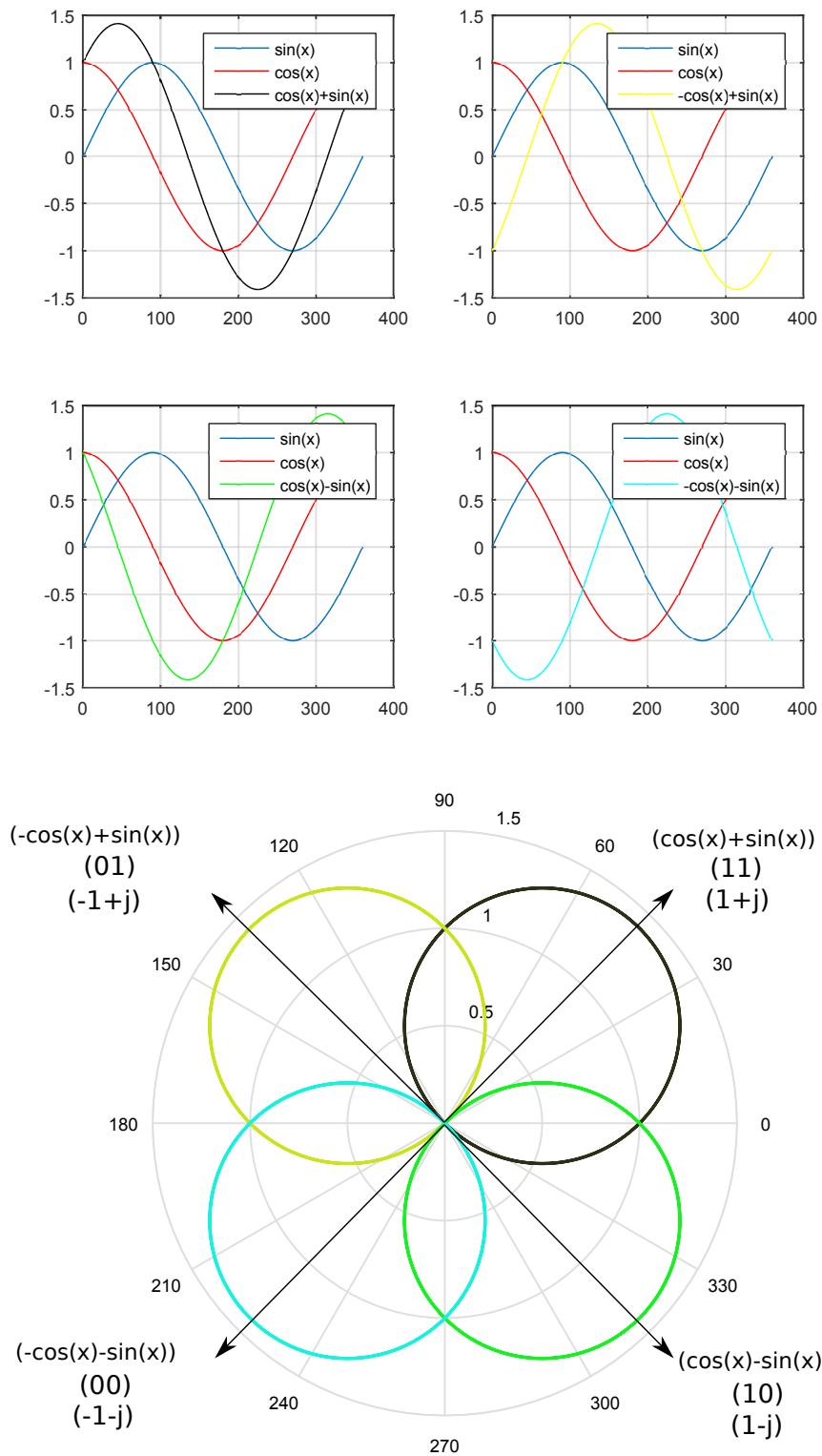


Figure 4.7 – Schéma blocs : Série/Parallèle avec codage données (4QAM) pour donnée codée sur 8bits.

la communication MIMO. Arrivé au canal de transmission, un codage est fait pour modéliser la réponse fréquentielle de la fonction de transfert du canal.

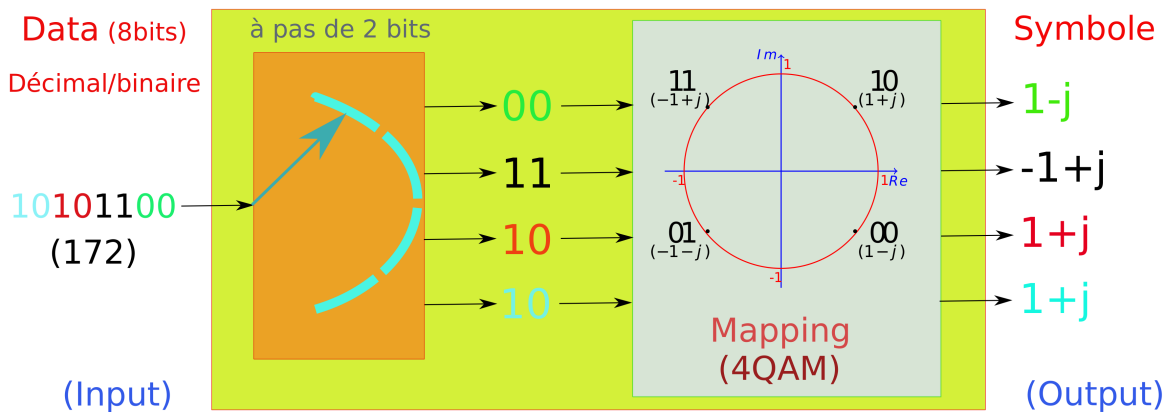


Figure 4.8 – Exemple de Série/Parallèle avec codage données (4QAM) pour donnée codée sur 8bits.

Il est à noter que lors du traitement, de l'enregistrement et de l'analyse de signaux analogiques continus ou de fonctions avec un ordinateur numérique, des informations sont perdues lorsque les signaux sont convertis en format numérique. Lorsque les signaux sont échantillonnés dans un domaine (temps ou fréquence), la perte d'information est caractérisée comme un alias dans l'autre domaine (fréquence ou temps, respectivement). Lorsqu'un signal ou une fonction est tronqué dans un domaine, la perte d'informations est caractérisée comme une fuite dans l'autre domaine. Il est montré qu'en raison de la nature duale de la fuite et de l'aliasing, cette fuite dans un domaine réduit l'aliasing dans l'autre domaine et vice-versa.

En ce qui concerne la réponse impulsionnelle du canal est estimée par l'application de la transformation inverse de Fourier $IFFT$ de la réponse fréquentielle du canal de transmission où un fenêtrage rectangulaire du signal fréquentiel est adopté, ce qui résulte en un biais émanant des fuites temporelles (time leakage) défini comme étant l'erreur associée à la troncature d'un signal fréquentiel (filtrage passe-bas). Le manque d'informations sur le contenu à haute fréquence produit une incertitude sur la valeur du signal temporel. À moins que le contenu de fréquence soit connu pour toutes les fréquences, la connaissance exacte à tout moment est impossible. C'est le même propos que celui des fuites spectrales ou fréquentielles (frequency leakage). On définit les fuites spectrales comme étant :

- 1- l'erreur associée à la troncature d'un signal temporel. Le manque d'informations sur la nature du signal avant et après son enregistrement produit une incertitude concernant le contenu fréquentiel du signal.
- 2- L'erreur associée à la détermination ou à l'échantillonnage du spectre d'un signal à cer-

taines lignes de fréquences. Sauf si le signal est connu pour tous les temps, l'échantillonnage exact est impossible.

Par conséquent, pour réduire ces deux types de fuites qu'elles soient temporelles ou fréquentielles, il est courant de multiplier les fenêtres de données, fréquentielles ou temporelles respectivement aux fuites temporelles ou fréquentielles, par un taper (fenêtre) avant d'effectuer une transformation de Fourier inverse ou directe [99]. La fonction taper consiste en une fonction de lissage progressive vers zéro à proximité des extrémités de la fenêtre, visant à minimiser l'effet de la discontinuité entre le début et la fin de la série fréquentielle ou la série temporelle. Bien que les fuites temporelles ou les fuites spectrales ne puissent pas être évitées, elles peuvent être considérablement réduites en changeant la forme de la fonction de taper de manière à minimiser les fortes discontinuités proches des bords de la fenêtre.

Il est à remarquer que le fenêtrage est appliqué dans l'espace fréquentiel où à ce niveau de la thèse, on introduit une fusion de segments résultants de plusieurs fenêtrages pondérés appliqués sur le même segment spectral.

L'application de plusieurs types de fenêtres engendre un ensemble de séquences fréquentielles où ces dernières sont sujettes à la fusion par le concept proposé dans cette thèse qui est la fusion par combinaison linéaire pondérée fondée sur la théorie d'agrégations par des pondérations moyennées et ordonnées où l'approche de fusion est communément appelée OWA (Ordered Weighted Averaging).

L'intérêt majeur de ce chapitre est de faire apparaître un aspect très important dans la mise en application d'un système biométrique distant sans fil qui exige du haut débit. Ainsi, l'étude et la validation d'une approche proposée pour améliorer la capacité du canal de transmission. Il est à noter que la capacité d'un canal est liée principalement aux types de modèle du canal avec la nature de la modulation et sans toutefois oublier le type d'antenne utilisée dans la chaîne de communication mobile (voir la Figure 4.9). Dans le cas présent, le modèle du canal est de type MIMO (Multiple Input Multiple Output) associé à une modulation de type OFDM (Orthogonal Frequency Division multiplex) où, ces deux types d'aspects sont évoqués dans les sections 4 et 3, respectivement.

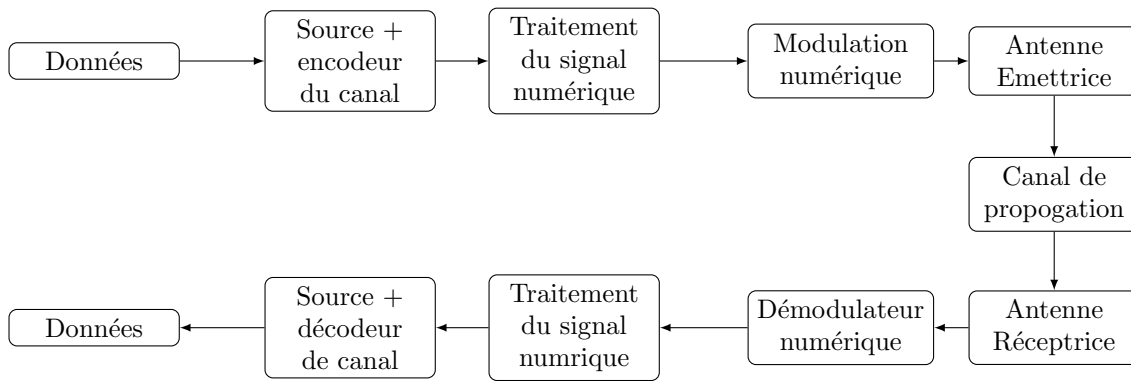


Figure 4.9 – Chaîne de communication mobile

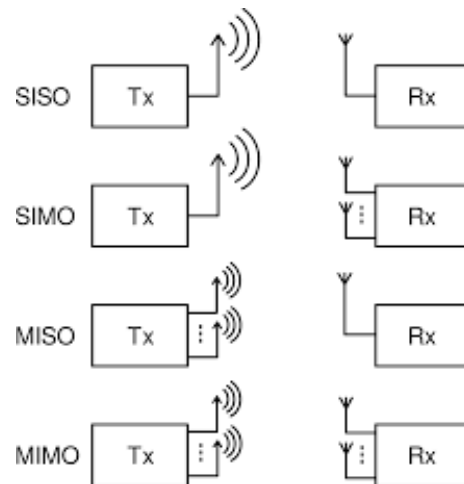


Figure 4.10 – Différentes Topologies d'antennes : SISO, MISO, SIMO, et MIMO.

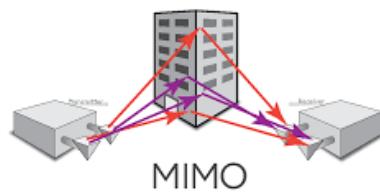


Figure 4.11 – Système MIMO et le multi-trajet de l'onde transmise.

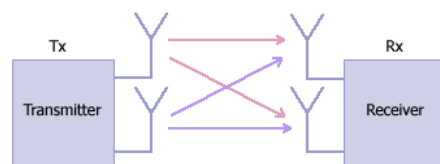


Figure 4.12 – Système multi-input, multi-output (MIMO) de topologie 2x2.

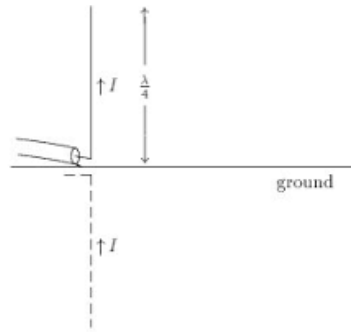


Figure 4.13 – Antenne Monopole.

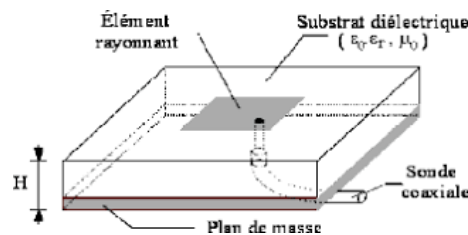


Figure 4.14 – Antenne de type PATCH.

5 Les différentes technologies d'antennes

L'avènement des antennes patches depuis les années 1950 a révolutionné le monde des communications (voir Figures 4.14 et 4.13). Leurs faibles poids, leurs formes miniatures ainsi que leur faible coût fait de ces antennes un bon compétiteur aux antennes classiques. La technologie actuelle qui vise de plus en plus la miniaturisation des composants a permis de mettre en évidence l'importance et l'utilité des antennes imprimées. Suite à ça, beaucoup d'applications ont vu le jour, à savoir, les missiles intelligents, les communications sans fil, les applications radars, etc. Dans sa forme la plus simple, une antenne microruban est constituée d'un élément conducteur appelé patch imprimé sur la face supérieure d'un substrat diélectrique, la face inférieure complètement métallisée constitue le plan de masse (voir Figure 4.14). L'élément rayonnant peut être de forme arbitraire, cependant les formes rectangulaire, circulaire, triangulaire et leurs dérivées sont les plus communément utilisées. Elle peut être utilisée seule ou comme élément d'un réseau. De même, elle peut être intégrée au plus près des circuits électroniques en occupant un volume réduit et se conformant à différents types de surfaces.

6 Estimation de la réponse impulsionnelle du canal de transmission

La configuration ou le choix topologique du canal et la modulation utilisés dans cette thèse sont l'OFDM-MIMO. La capacité ou encore le flux de données du canal est fixé d'une part par le choix de 2x2 MIMO et d'autre part par la chaîne de bloc de l'OFDM.

Il est à noter que les mesures, utilisées pour l'estimation de la réponse impulsionnelle du canal, ont été effectuées dans le domaine fréquentiel. La transformée de Fourier discrète inverse (IDFT) a été appliquée à la fonction de transfert complexe du canal, mesurée et fenêtrée par une mono-fenêtre de type Hamming afin d'obtenir la réponse impulsionnelle de canal.

Cette symétrie entre les domaines temporels et fréquentiels est appelée dualité et donne lieu à de nombreuses propriétés intéressantes (voir Figure 4.15). Par exemple, un point unique dans le domaine fréquentiel correspond à une sinusoïde dans le domaine temporel. Par dualité, l'inverse est également vrai, un seul point dans le domaine temporel correspond à une sinusoïde dans le domaine fréquentiel. Comme autre exemple, la convolution dans le domaine temporel correspond à la multiplication dans le domaine fréquentiel. Par dualité, l'inverse est également vrai : la convolution dans le domaine fréquentiel correspond à la multiplication dans le domaine temporel.

$$h_{ji}(x', t) = \int_{-\infty}^{+\infty} H_{ji}(x', f) F_{mono-taper}(f) e^{i2\pi ft} df \quad (4.3)$$

Lors de l'utilisation d'une seule taper (fenêtre), la réponse impulsionnelle de canal estimée est obtenue à partir du paramètre de dispersion du domaine fréquentiel en appliquant l'IFFT sur une certaine bande passante, comme le montre l'Équation 4.3, avec un type de fenêtre spécifié (exemple : fenêtre de Hamming). Dans notre travail précédent, une fenêtre unique de Hamming a été utilisée. Ici, le concept de spectre multitapers est appliqué pour réduire la fuite temporelle (time leakage) et la variance de l'estimation qui ne peut pas être atteinte en utilisant une seule fenêtre, comme mentionné précédemment. Pour cela, les estimations des canaux à travers les différentes tapers sont combinées pour obtenir l'estimation finale comme suit :

$$h_{ji}(x', t) = \sum_{p=1}^M \int_{-\infty}^{+\infty} w_p(f) H_{ji}(x', f) F_p(f) e^{i2\pi ft} df \quad (4.4)$$

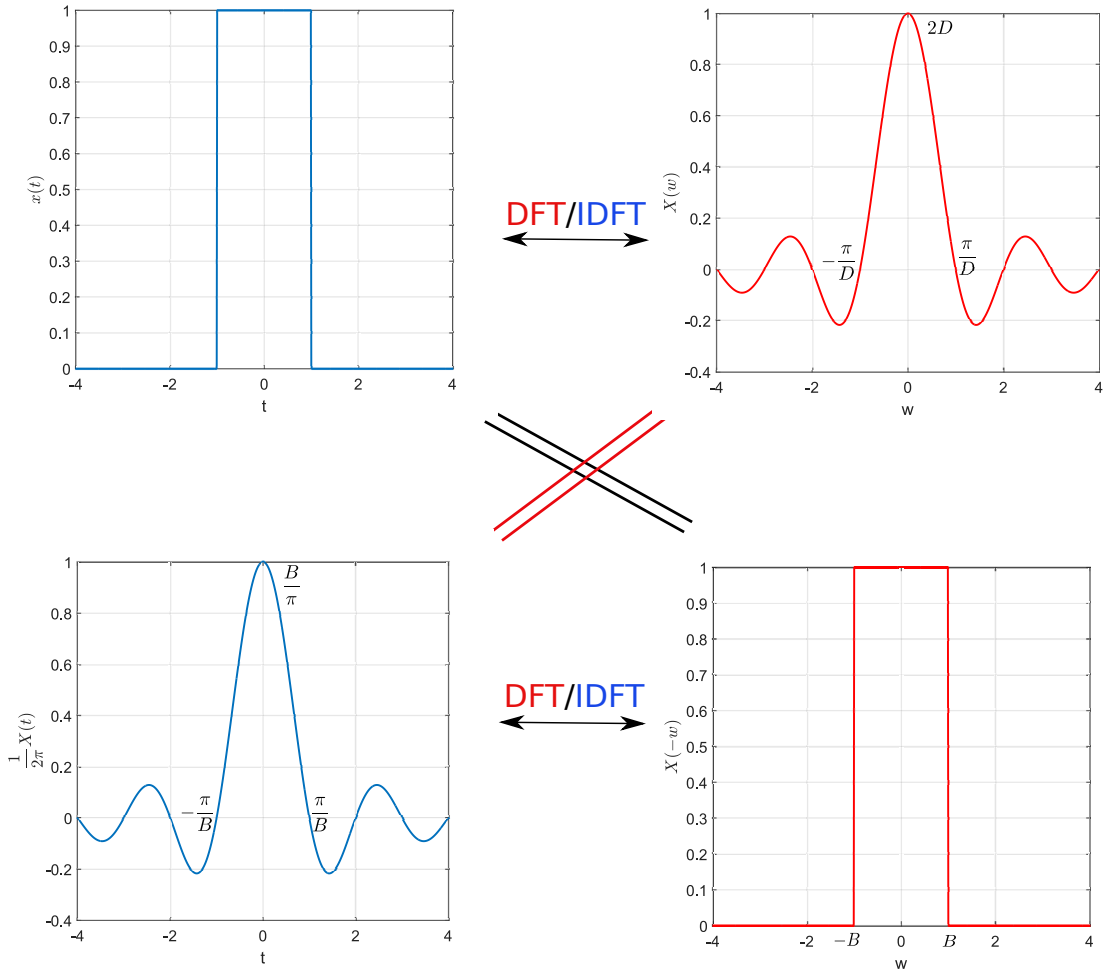


Figure 4.15 – Dualité Temps-Fréquence.

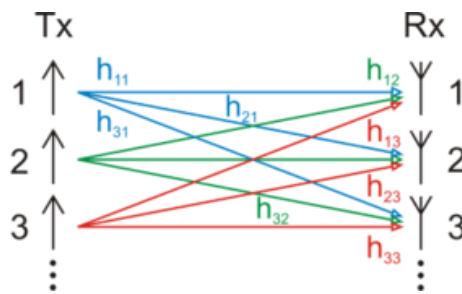


Figure 4.16 – Système multi-input, multi-output (MIMO).

où $F_p(f)$ est la $p^{i\grave{e}me}$ fenêtre dans le domaine fréquentiel, $h_{ji}(x', t)$ est le canal estimé entre le $(j^{i\grave{e}me}, i^{i\grave{e}me})$ paire d'antennes (voir Figure 4.16), M désigne le nombre de taps (fenêtres) et w_p à son poids relatif attribué. Á chaque indice fréquence on estime un vecteur de poids de pondération $w_{p=1}^M$. Dans ce chapitre, la technique OWA (Ordered Weighted Averaging ou opérateur d'agrégation pondérée ordonnée) est exploitée pour l'optimisation des poids utilisés pour la fusion de fenêtres. Cette approche implique la solution d'un problème

d'optimisation non-linéaire avec contrainte, en prenant le degré d'orness comme contrainte et l'entropie, comme fonction objective à maximiser. Les deux métriques importantes pour la sélection des poids, à savoir les paramètres d'entropie et d'orness (le pur 'ou'), sont définies comme :

$$Entropy(w) = - \sum_{p=1}^M w_p \ln(w_p) \quad (4.5)$$

et

$$orness(w) = \frac{1}{M-1} \sum_{p=1}^M (M-p)w_p \quad (4.6)$$

Ces deux paramètres ou métriques seront traités en détail dans la Section 7. Il est à mentionner qu'à chaque indice fréquence, l'opération d'optimisation est utilisée pour l'estimation du vecteur w_p . Ce qui fait que l'indice f n'est pas évoqué dans les Équations 4.5 et 4.6.

7 L'Opérateur OWA

7.1 Formulation mathématique de l'opérateur d'agrégation OWA

Nous nous sommes principalement concernés par le problème de l'agrégation multicritères pour former une fonction de décision globale. Nous introduisons un type d'opérateur pour l'agrégation appelé un opérateur d'agrégation pondérée ordonnée (OWA) [63]. Nous étudions les propriétés de cet opérateur. Nous voyons en particulier qu'il a la propriété de se situer entre le «et», exigeant que tous les critères soient satisfaits, et le «ou», exigeant au moins l'un des critères à satisfaire. On voit ces opérateurs OWA comme une nouvelle famille d'opérateurs moyens. Le problème de l'agrégation des fonctions de critères pour former des fonctions de décision globales est d'une importance considérable dans de nombreuses disciplines. Un facteur primordial dans la détermination de la structure de ces fonctions d'agrégation est la relation entre les critères impliqués. À une extrême, on se trouve dans la situation dans laquelle nous désirons que tous les critères soient satisfaits. À l'autre extrême, il y a le cas où la satisfaction de l'un quelconque des critères est tout ce que nous désirons. Ces deux cas extrêmes conduisent à utiliser les opérateurs "et" et "ou" pour combiner les fonctions des critères. Supposons que A_1, A_2, \dots, A_n sont n critères, concernant un problème multicritère. Soit x une alternative proposée.

Pour chaque critère A_j et pour une alternative x , nous avons le degré auquel x satisfait ce critère A_j , noté par $A_j(x)$, avec $A_j(x) \in [0, 1]$. Nous utiliserons I pour indiquer l'intervalle unitaire, donc $A_j(x) \in I$. Notre intérêt central est le problème de la formulation d'une fonction de décision globale D telle que pour toute alternative x , $D(x) \in I$ indique le degré auquel x satisfait à nos exigences souhaitées par rapport à l'ensemble de critères. Le problème devient celui de formuler une fonction D à partir des fonctions des critères individuels constitutifs :

$$D(x) = F(A_1(x), A_2(x), \dots, A_n(x)) \quad (4.7)$$

La structure de F devrait être telle que les conditions suivantes soient remplies : 1- Comme notre satisfaction dans l'alternative individuelle augmente, la satisfaction globale devrait augmenter ; si $A_j(x) \geq A_j(y)$ pour tous j puis $D(x) \geq D(y)$. Nous appelons cela une propriété de monotonie ou une association positive de critères individuels avec des préférences agrégées. 2- L'égalité d'importance des différents critères signifie que F doit être symétrique par rapport aux critères. Plus précisément, si a_1, \dots, a_n est une collection de nombres dans l'intervalle unitaire que toute association un à un de ces nombres avec les $A_j(x)$ donnera la même valeur pour $D(x)$, exemple si $n = 3$:

$$F(a_1, a_2, a_3) = F(a_2, a_1, a_3). \quad (4.8)$$

Plus formellement rappelons qu'un sac est un ensemble comme un objet qui permet la duplication mais ne fait aucune attention à la commande alors

$$D(x) = F(\langle A_1(x), A_2(x), \dots, A_n(x) \rangle) \quad (4.9)$$

où nous utilisons \langle et \rangle pour désigner un sac. Nous appellerons cette propriété symétrie ou commutativité généralisée. Une autre considération dont nous devons nous occuper dans la formulation est l'interrelation entre les critères que nous voulons modéliser. À un extrême est la situation dans laquelle nous désirons qu'une alternative satisfasse «tous» les critères. Dans ce cas, nous voyons que x doit satisfaire A_1 et A_2 et A_3, \dots , et A_n . Ainsi, l'exigence que toutes les conditions soient satisfaites se manifeste par un "anding" des valeurs de critères. A l'autre extrême se trouve la situation dans laquelle nous souhaitons qu'une alternative satisfasse «au moins un des critères». Dans ce cas, nous souhaitons que x satisfasse A_1 ou

A_2 ou A_3, \dots ou A_n . Ainsi, l'exigence selon laquelle au moins un des critères doit être satisfait se manifeste par un "oring" des valeurs de critères dans la formulation de la fonction de décision. Dans de nombreux cas, l'interrelation entre les critères se situe quelque part entre les deux cas extrêmes de vouloir «tout» ou «au moins un». Nous voulons que "la plupart" ou "plusieurs" ou "au moins la moitié" ou "plus de quatre" des critères soient satisfaits. Notre but ici est d'obtenir une forme fonctionnelle générale de ce type de situation.

Dans de nombreux cas de formulation de fonctions de décision à critères multiples, le type d'agrégation implicitement désiré par le décideur n'est ni le pur "anding" (le pur 'et') de la T-norm avec l'absence complète de compensation ni le pur "oring" (le pur 'ou') de l'opérateur S avec son indifférence aux critères individuels. Dans de nombreux cas, le type d'opérateur d'agrégation souhaité se situe quelque part entre ces deux extrêmes. Nous verrons que ce nouvel opérateur d'agrégation nous permet d'ajuster facilement le degré de "anding" et de "oring" implicite dans l'agrégation. Comme nous le verrons, un nom plus descriptif pour cet opérateur peut être un opérateur "orand" car il agit comme une combinaison des deux.

Définition : Une projection F à partir de :

$$I^n \longrightarrow I \quad (\text{avec } I = [0, 1]) \quad (4.10)$$

est appelé un opérateur OWA (Ordered Weighted Averaging ou opérateur d'agrégation pondérée ordonnée) de dimension n où on a associé à F un vecteur de pondération W ,

$$W = \begin{pmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_N \end{pmatrix} \quad (4.11)$$

telque

$$\begin{aligned} W_i &\in [0, 1] \\ \sum_i W_i &= 1 \end{aligned} \quad (4.12)$$

et où

$$F(a_1, a_2, \dots, a_n) = W_1.b_1 + W_2.b_2 + \dots + W_n.b_n, \quad (4.13)$$

où b_i est le plus grand élément de la collection a_1, a_2, \dots, a_n . Nous appellerons n vecteur B un vecteur d'argument ordonné si chaque élément $b_i \in [0, 1]$ et $b_i \geq b_j$ si $j > i$. Étant donné un opérateur OWA noté F avec un vecteur de pondération W et un argument de n -uplet (a_1, a_2, \dots, a_n) où n -uplet définit un vecteur à n éléments ordonnés. On peut associer à ce vecteur un vecteur d'entrée ordonné B tel que B est le vecteur constitué des arguments de la mise en décroissance de F . En utilisant cette notation, alors

$$F(a_1, a_2, \dots, a_n) = W'.B, \quad (4.14)$$

est le produit scalaire de W et B . Il est parfois commode de noter $F(a_1, a_2, \dots, a_n)$ comme $F(B)$ où B est le vecteur d'argument ordonné associé. Il est important de souligner le fait que les poids, les W_i , sont associés à une position ordonnée particulière plutôt qu'à un élément particulier. W_i est le poids associé au $i^{\text{ème}}$ élément le plus important quel que soit le composant. Il est à noter qu'il est facile de démontrer que pour tout vecteur d'argument ordonné B et tout opérateur OWA F avec un vecteur de pondération W :

$$1 \geq F(B) \geq 0 \quad (4.15)$$

L'exemple simple suivant illustre l'utilisation de ces opérateurs OWA.

Exemple : Supposons que F est un opérateur de moyenne de pondération ordonnée de taille $n = 4$ avec un vecteur de pondération,

$$W = \begin{pmatrix} 0.2 \\ 0.3 \\ 0.1 \\ 0.4 \end{pmatrix} \quad (4.16)$$

Calculer $F(0.6, 1, 0.3, 0.5)$.

Dans ce cas, le vecteur d'argument ordonné B est

$$B = \begin{pmatrix} 1.0 \\ 0.6 \\ 0.5 \\ 0.3 \end{pmatrix} \quad (4.17)$$

Par conséquent

$$F(0.6, 0.1, 0.3, 0.5) = F(B) = W'B = \begin{pmatrix} 0.2 & 0.3 & 0.1 & 0.4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1.0 \\ 0.6 \\ 0.5 \\ 0.3 \end{pmatrix} = 0.55, \quad (4.18)$$

7.2 Mesure de 'Andness' et 'Orness'

Supposons que F est un opérateur OWA avec la fonction de pondération W . Si $W_n = 1$ alors comme nous l'avons montré, F est un opérateur "et" pur alors que si $W_1 = 1$, alors F est un opérateur "ou" pur. Nous pouvons en outre observer que plus le poids total est proche de W_1 , plus la fonction F est proche d'être un opérateur "ou" pur alors que plus elle est proche de W_n , plus la fonction F est proche d'être un "et" pur. On introduira ici une mesure de "orness" associée à une fonction de pondération.

Supposons que F est une agrégation OWA avec fonction de pondération $W = [W_1, W_2, \dots, W_n]$. Le degré d "'orness" associé à cet opérateur est défini comme :

$$orness(W) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n ((n-i) \cdot W_i), \quad (4.19)$$

Par exemple pour $W = [1, 0, 0, \dots]$ l' $orness(W) = 1$ et pour $W = [0, 0, 0, \dots, 1]$ l' $orness(W) = 0$. Comme il est observé l'ordre a une importance capitale pour cette opérateur.

Le "andness" associé à l'opérateur OWA est défini comme étant le complément de "orness" :

$$andness(W) = 1 - orness(W), \quad (4.20)$$

7.3 Introduction de l'entropie pour l'estimation de W

Il peut arriver que deux fonctions de pondération aient le même degré d "'orness" (voir exemple si-dessous), dans cette situation pour faire la différence et pour pouvoir choisir la plus optimale, où les deux fonctions sont différentes dans le sens où la première est plus évidente et utilise moins de ressource de l'entrée. Afin de faire émerger cette idée, une

métrique est introduite, correspondante à une mesure de "dispersion" associée à une fonction de pondération W .

exemples :

$$W_1 = \begin{pmatrix} 0.0 \\ 0.0 \\ 1.0 \\ 0.0 \\ 0.0 \end{pmatrix} \Rightarrow orness(W_1) = \frac{1}{5-1} \sum_{i=1}^5 (5-i) \begin{pmatrix} 0.0 \\ 0.0 \\ 1.0 \\ 0.0 \\ 0.0 \end{pmatrix} \Rightarrow orness(W_1) = 0.5 \quad (4.21)$$

$$W_2 = \begin{pmatrix} \frac{1}{5} \\ \frac{1}{5} \\ \frac{1}{5} \\ \frac{1}{5} \\ \frac{1}{5} \end{pmatrix} \Rightarrow orness(W_2) = \frac{1}{5-1} \sum_{i=1}^5 (5-i) \begin{pmatrix} \frac{1}{5} \\ \frac{1}{5} \\ \frac{1}{5} \\ \frac{1}{5} \\ \frac{1}{5} \end{pmatrix} \Rightarrow orness(W_2) = 0.5 \quad (4.22)$$

Supposons que W est un vecteur de pondération avec les éléments $W_1 \dots W_n$ alors la mesure de dispersion de W est définie comme :

$$dispersion(W) = - \sum_j W_j \ln(W_j) \quad (4.23)$$

Nous notons que puisque cette dispersion est vraiment une mesure de l'entropie. L'entropie évalue le degré auquel toutes les fenêtres sont également adoptées, tandis que l'ornes estime le degré auquel la fusion se comporte comme un opérateur «ou» et fait en sorte que toutes les fenêtres contribuent. Les critères d'entropie maximum impliquent la solution du problème d'optimisation non-linéaire avec contrainte suivante [100] :

8 Estimation de la capacité du canal de transmission

La capacité du canal de transmission $C(bits/s)$ est définie comme étant la vitesse de transmission maximale possible [30], de sorte que la probabilité d'erreur est arbitrairement petite. La formule la plus générale pour calculer la capacité d'un canal dans le cas où les coefficients du canal sont connus ou inconnus à l'émetteur est donnée par la formule de

capacité de Shannon.

L'entropie évalue le degré auquel toutes les fenêtres sont également adoptées, tandis que l'orness estime le degré auquel la fusion se comporte comme un opérateur «ou» et fait en sorte que toutes les fenêtres contribuent. Les critères d'entropie maximum impliquent la solution du problème d'optimisation non-linéaire avec contrainte suivante [100] :

$$\text{Max Entropy}(w) \quad \text{s.t.} \quad \text{orness}(w) = a \quad 0 \leq a \leq 1 \quad (4.24)$$

$$\sum_{p=1}^M w_p = 1, \quad w_p \in [0, 1], \quad p = 1, \dots, M \quad (4.25)$$

L'Équation 4.25 limite les poids de sorte qu'ils ne modifient pas l'énergie de l'opérande d'origine. Une fois les poids sont sélectionnés, la capacité du canal est évaluée dans le cadre de la distribution à puissance égale (EP) et des systèmes de remplissage d'eau (WF), normalisé par rapport à la bande passante, la capacité est exprimée en termes du SNR ρ [101] [102] :

$$C = \log_2(\det(\mathbf{I} + \frac{\rho}{M} \mathbf{H}' \mathbf{H}^H)) \quad (4.26)$$

9 Analyse

La Figure 4.17 illustre les réponses impulsionnelles du canal obtenues lors de l'utilisation d'un taper et en fusionnant 4 tapers, soit en considérant le signal entier avec chemin avec pertes, soit en ne conservant que la composante d'évanouissement rapide. Il est montré à partir de cette figure que toutes les réponses impulsionnelles obtenues ont leur pic situé au même retard ; donc pointant vers la même ligne de visée (LOS). L'atténuation de la perte de trajectoire entraîne un décalage significatif de la réponse impulsionnelle. Plus intéressant, grâce à la diversité offerte, le recours au multi-tapers permet d'augmenter l'amplitude de la réponse impulsionnelle du canal et de diminuer l'amplitude des ondulations du signal.

Les capacités ergodiques réalisables dans l'environnement souterrain avec un nombre et un type différents de tapers sont comparées au cas de taper unique de Hamming. Les tapers étudiés dans cette section sont Blackman-Harris, Chebyshev et Kaiser. L'Annexe A donne une description mathématique des fonctions tapers utilisées dans cette analyse. Le choix des fenêtres est une question critique et devrait être davantage abordée pour l'optimisation des

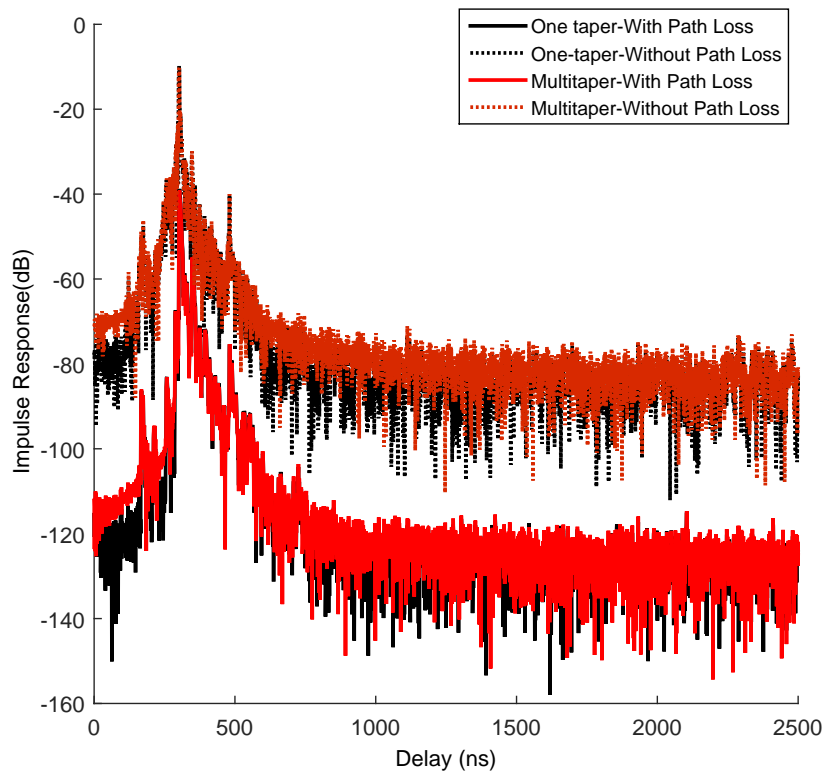


Figure 4.17 – Impulse response of the whole channel component and the fast fading component.

poids de pondération pour leurs fusion, mais ceci est au-delà de la portée de cette analyse. Pour l'évaluation du gain en capacité apportée par la fusion de fenêtres, chaque estimation de capacité de sous-canal spatial obtenue a été normalisée par rapport à la moyenne globale calculée sur tous les sous-canaux spatiaux, de sorte à maintenir constante les variations du canal.

Dans notre analyse on introduit le facteur K , qui est une mesure utile de la qualité de la liaison de communication. Par conséquent, l'estimation de K est d'une importance pratique dans divers scénarios de systèmes sans fil, y compris la caractérisation des canaux, les calculs du bilan de liaison et la modulation adaptative [103]. De plus, les progrès récents dans le codage spatio-temporel ont montré que la capacité et la performance des systèmes MIMO dépendent du facteur K rician [104]. Il est démontré dans [105] qu'à un niveau de SNR fixe, un facteur K plus élevé signifie plus de corrélation spatiale et donc une diminution de la capacité du canal. Le facteur Rician K est mesuré pour chaque distance entre l'émetteur et le récepteur. Ce paramètre caractérise la puissance relative de la puissance du signal du trajet direct par rapport à celle des signaux réfléchis (dispersés). Dans notre traitement des données, le facteur K est estimé à partir des données de mesure pour chaque canal MIMO

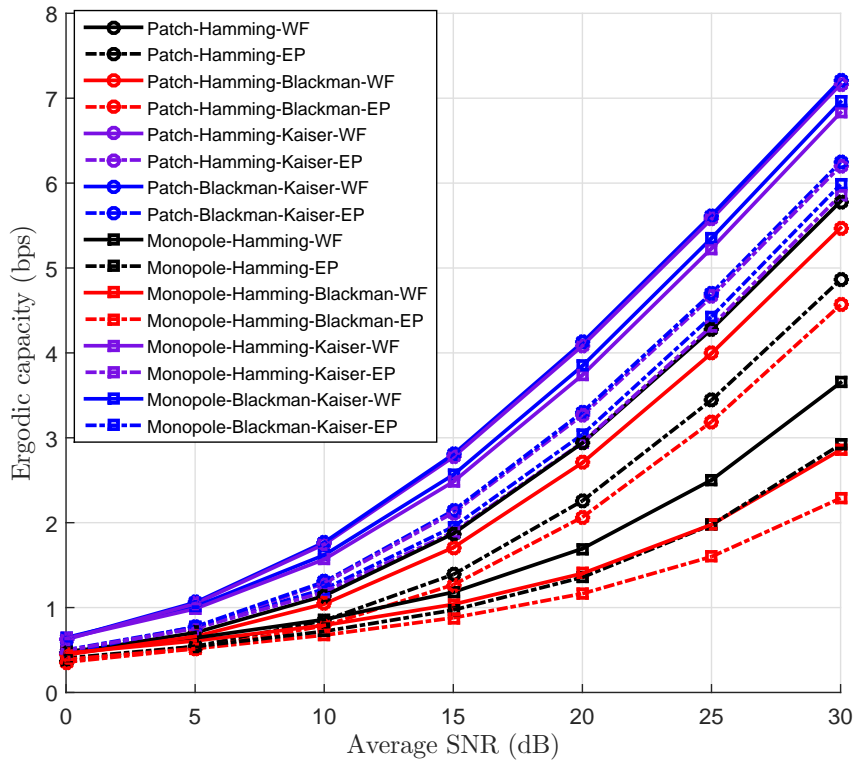


Figure 4.18 – Comparaison de capacité ergodique suivant une configuration de 2 fenêtres.

en utilisant la méthode présentée dans [106], moyennée sur l'ensemble de ses sous-canaux SISO correspondants. Pour une réponse de canal H , le facteur K est estimé comme :

$$K = \frac{\epsilon(|h_{ji}|^2)}{2\text{var}(|h_{ji}|)} \quad (4.27)$$

Avec $\epsilon(\cdot)$ et $\text{var}(\cdot)$ se référant à la moyenne statistique et à la variance de l'opérande. La Figure 4.20 donne les facteurs de Rice en termes de distance Tx-Rx, pour les fenêtres possibles adoptées dans le multi-tapers. Ceux-ci, en fait, sont les valeurs moyennes sur les liens MIMO. Malgré le fait que les valeurs correspondantes soient proches, les antennes monopôles présentent des valeurs K légèrement plus faibles que les antennes patch, ce qui tend davantage vers la distribution de Rayleigh. Plus particulièrement, la combinaison de Hamming-Kaiser permet de diminuer le facteur K par rapport à l'utilisation de la fenêtre de Hamming seule. Le facteur K ne varie pas beaucoup en termes de distance, car nous sommes relativement proches du récepteur. Même si le LOS a été soigneusement préservé, la structure des galeries de la mine et l'effet des murs, du plafond et du sol donnent lieu à de multiples réflexions et à une propagation par trajets multiples, abaissant ainsi le facteur K valeurs modérées.

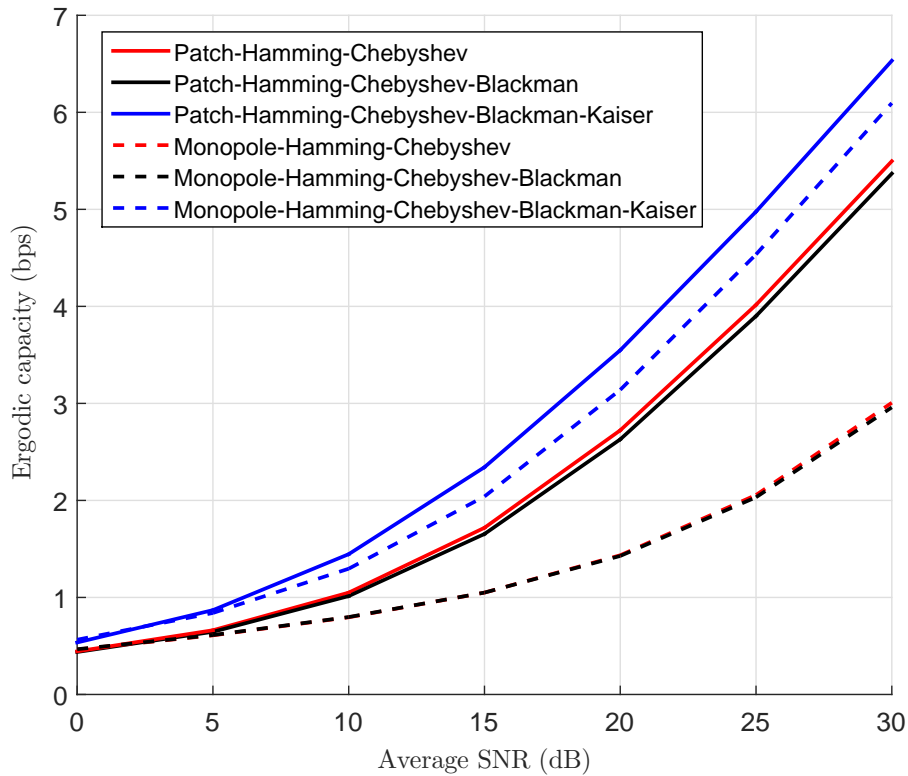


Figure 4.19 – Comparaison de capacité ergodique suivant une configuration de 2, 3 et 4 fenêtres.

La Figure 4.18 montre les capacités estimées de schémas d'allocation WF et EP réalisables lorsqu'on utilise une taper unique et une fusion de deux fenêtres. L'objectif d'une telle étude est de montrer que la fusion de fenêtre peut être efficace ou non, en fonction des fenêtres sélectionnées et du type d'antenne. A partir de cette figure, on peut observer que, en combinant les fenêtres de Hamming et de Blackman-Harris et en adoptant des dégradations multitapering, la capacité réalisable par rapport à une taper de défilement unique quel que soit le type d'antenne. En revanche, opter pour les combinaisons Hamming-Kaiser et Blackman-Kaiser offre un gain intéressant. Lorsque le niveau de SNR est faible, les effets du type d'antenne et de la fusion des fenêtres sont négligeables. De plus, il est observé que, comme cela est communément connu, le waterfilling à cette plage fournit la même capacité que le système EP avec une complexité de calcul plus élevée. En effet, le niveau de SNR n'est pas suffisant pour exploiter les modes propres des canaux existants avec l'enfouissement. Avec une configuration de fusion de tapers, à une plage de SNR élevée, le recours au waterfilling fournit un gain de capacité de 1 bps à 30 dB par rapport à EP. De plus, par rapport à l'antenne monopôle, l'antenne patch est plus appropriée pour l'amélioration du débit de données dans un tel environnement. En effet, le canal MIMO souterrain équipé d'une antenne patch surpasse de

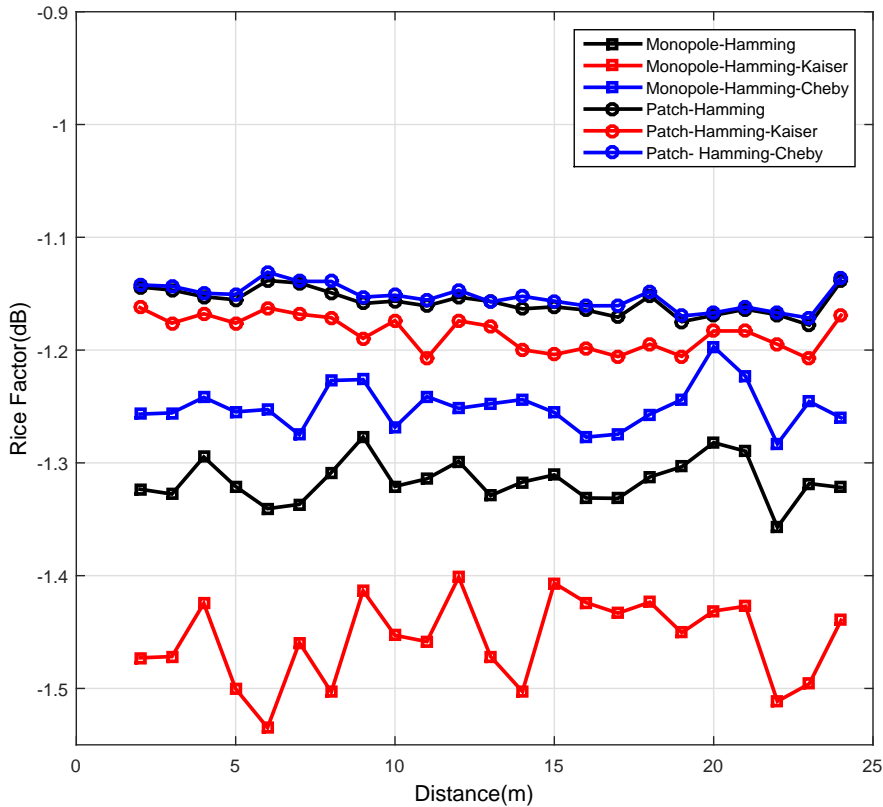


Figure 4.20 – Ricean K values in terms of distance for different windows aggregation.

plus de 2 bps son alternative basée sur un monopôle à une gamme de SNR élevée lorsque les configurations d'un seul taper et de fusion Hamming-Blackman sont choisies. L'utilisation des autres configurations de fusion de fenêtres permet de réduire considérablement l'écart de capacité à environ 0,3 bps. Avec des combinaisons de fenêtres correctement sélectionnées, telles que Blackman-Kaiser et Hamming-Kaiser, incorporer l'agrégation multi-tapers induit un gain de capacité considérable par rapport à la capacité alternative unique, évaluée à 0,5 bps et 3 bps respectivement pour les antennes patch et monopole pour un niveau d'SNR élevé. Par conséquent, le choix d'un type de taper pour l'agrégation de tapers, mais aussi le nombre de tapers, est critique et doit être traité avec soin et optimisé. Encore une fois, dans ce travail, l'objectif principal est de valider le concept d'agrégation de fenêtres. La simulation suivante vise à étudier quel serait l'impact de l'augmentation du nombre de tapers impliqués dans la fusion en conservant le même réglage RF. Seul le système de waterfilling est étudié, car il est le plus performant. Les combinaisons de tapers retenues pour une telle étude sont : Hamming-Chebyshev, Hamming-Chebyshev-Blackman et Hamming-Chebyshev-Blackman-Kaiser pour la fusion de 2, 3 et 4 tapers, respectivement. On se référera à eux ci-après comme 2-tapers, 3-tapers et 4-tapers par souci de simplicité.

On voit sur la Figure 4.19 que, avec les tapers sélectionnés, l'ajout d'un taper supplémentaire au schéma d'agrégation à 2-tapers n'apporte pas de gain de capacité significatif, puisque la configuration à 3-tapers offre une capacité comparable. Néanmoins, opter pour l'arrangement 4-tapers améliore la capacité de 1 bps pour le cas de l'antenne patch et de plus de 3 bps pour l'antenne monopôle, lorsque le niveau de SNR est élevé. De plus, la différence de capacité réalisable entre les configurations à base de patch et monopole est fortement réduite à moins de 0,5 bps. Encore une fois, cette amélioration de la capacité avec l'adoption de la fusion de tapers provient du schéma de diversité qu'elle offre, améliorant ainsi le niveau du signal du côté réception. L'étude de la diversité et de la corrélation s'inscrit dans le cadre des travaux futurs.

10 Conclusion

Dans ce travail, les possibilités de combiner des techniques multitapers et de fusion de fenêtres pour l'extraction de la réponse impulsionnelle de canal et l'amélioration du débit de canal ont été étudiées. Il a été montré que l'adoption de multiples tapers au lieu de la fenêtre de Hamming habituellement utilisée, permet de mieux extraire les informations inhérentes présentes dans le canal. Avec la normalisation de canal nous avons adopté, de telle sorte que pour englober les variations de canaux, l'antenne patch permet d'offrir une plus grande capacité. Le choix du type de taper et le nombre de tapers pris en compte dans la méthode d'agrégation sont critiques et devraient être étudiés plus en détail.

Conclusion Générale

Dans cette thèse, deux contributions majeures ont été introduites et discutées. La première porte sur l'amélioration des performances du système biométrique et a fait l'objet du chapitre 2. Dans ce cadre, nous avons présenté une nouvelle méthode qui traite les données biométriques des usagers de façon à les incorporer dans un cadre d'agrégation incomplète, et basé sur le fait de prendre une décision optimale dans un processus de normalisation de score. Ce dernier invoque la notion du rapprochement des opinions des experts, où les opinions sont représentées par les scores spécifiques à l'utilisateur. Cette agrégation d'opinions a besoin de plus d'experts pour un consensus partiel, confiant, et instructif. L'idée maîtresse de cette nouvelle approche est basée sur l'emploi d'un mélange convexe de la dispersion stochastique des scores des utilisateurs. Cette procédure vise à réviser les scores des utilisateurs, ainsi mettre à jour les paramètres statistiques des usagers, qui sont les principaux éléments de l'approche de normalisation de score proposée. Appliquer ce concept pour divers scénarios donne un résultat intéressant par rapport aux solutions rapportées dans l'état de l'art. La deuxième contribution quant à elle, a porté sur une application effective des méthodes de fusion dans un scénario réel, à savoir les environnements sous-terrain. Le chapitre 4 qui a décrit l'étude de ce système, propose de recueillir la plus grande quantité d'information temporelle sur les canaux, à partir du domaine fréquentiel, en exploitant la diversité offerte par la fusion de plusieurs fenêtres, communément appelées Tapers. Ces tapers servent donc à paralléliser la communication sur toutes ces fenêtres, augmentant ainsi le débit atteignable. Le choix des tapers et de l'approche d'optimisation de leur pondération, pour un usager donné, permet d'offrir une protection de la donnée de celui-ci. Afin d'aboutir à cela, les mesures dans le domaine fréquentiel sont filtrées en utilisant les fenêtres sélectionnées, pondérées, puis combinées avant l'application de la transformée de Fourier inverse, adoptant ainsi le concept de dualité temps-fréquence par rapport à la technique des multitapers, qui elle, estime le spectre. Le principe de multitaper a été sélectionné, à cause des résultats des limitations connues de la

technique d'estimation du spectre, avec une fenêtre unique, qui non seulement élimine plus ou moins une quantité importante de données originales, mais de plus conduit à l'augmentation de la variance de l'estimation, provoquant une fuite d'énergie à travers les fréquences. Dans ce travail, les poids des fenêtres sont sélectionnés en adoptant la méthode de moyenne pondérée ordonnée (OWA), qui implique la résolution d'un problème d'optimisation non-linéaire avec contraintes, avec un degré d'orness donné comme contrainte, et l'entropie à maximiser comme fonction objective. Ce concept à été appliqué avec succès sur les mesures du canal souterrain MIMO dans le domaine fréquentiel. En perspectives, on vise d'utiliser les approches proposées de normalisation et de fusion dans le domaine médical comme le ECG et EEG. Et approfondir l'étude sur le choix des fenêtres à fusionner par l'opérateur d'agrégation OWA.

Annexe A

Fenêtrage (windowing)

Généralement, Il y a beaucoup de traitement du signal consacré à la détection et à l'estimation. La détection est la tâche de déterminer si un ensemble de signaux spécifique est présent dans une observation, tandis que l'estimation est la tâche d'obtenir les valeurs des paramètres décrivant le signal. Souvent, le signal est compliqué ou est corrompu par des signaux interférents ou du bruit. Pour faciliter la détection et l'estimation des ensembles de signaux, l'observation est décomposée par un ensemble de bases qui couvre l'espace du signal. Pour de nombreux problèmes d'intérêt technique, la classe de signaux recherchée est périodique et conduit naturellement à une décomposition par un base constituée de fonctions périodiques simples, sinus et cosinus. La transformée de Fourier classique est le mécanisme par lequel nous sommes capables d'effectuer cette décomposition.

Par nécessité, tout signal observé que nous traitons doit être d'étendue finie. L'étendue peut être ajustable et sélectionnable, mais elle doit être finie. Le traitement d'une observation à durée finie impose des considérations intéressantes et interactives sur l'analyse harmonique. Ces considérations incluent la détectabilité des tons en présence de tons forts proches, la résolubilité des tons voisins proches, la résolubilité des tons changeants et les biais dans l'estimation des paramètres de l'un quelconque des signaux susmentionnés.

Pour des raisons pratiques, les données que nous traitons sont N échantillons uniformément espacés appartenant au signal observé. Par commodité, N est le nombre de composites, et nous supposons que N est pair. Les estimations harmoniques que nous obtenons à travers la transformée de Fourier discrète (DFT) sont N échantillons uniformément espacés associés au spectre périodique. Cette approche est élégante et attrayante lorsque le processus de traitement est réalisé en donnant une décomposition spectrale dans un espace vectoriel orthogonal

à N-dimensionnel. Malheureusement, dans de nombreuses situations pratiques, pour obtenir des résultats significatifs, cette élégance doit être compromise. Un tel compromis consiste à appliquer des fenêtres à l'ensemble de données échantillonnées ou de manière équivalente, à lisser les échantillons spectraux.

La sélection d'un intervalle de temps NT et de la base trigonométrique orthogonale (continue ou échantillonnée) sur cet intervalle conduit à une particularité intéressante de l'expansion spectrale. À partir du continuum des fréquences possibles, seules celles qui coïncident avec la base seront projetées sur un seul vecteur de base ; toutes les autres fréquences présenteront des projections non nulles sur l'ensemble de bases entières. Ceci est souvent appelé la fuite spectrale et elle résulte de la durée finie du traitement d'enregistrements. Bien que la quantité de fuites soit influencée par la période d'échantillonnage, les fuites ne sont pas causées par l'échantillonnage lui-même.

Une approche intuitive de la fuite fréquentielle signifie que les signaux avec des fréquences autres que celles de l'ensemble de bases ne sont pas périodiques dans la fenêtre d'observation. L'extension périodique d'un signal non proportionné à sa période naturelle présente des discontinuités aux limites de l'observation. Ces discontinuités sont responsables des contributions spectrales (ou des fuites) sur l'ensemble de bases. Bien sûr, les deux points de vue conduisent à des résultats identiques.

Les fenêtres sont des fonctions de pondération appliquées aux données pour réduire la fuite spectrale associée aux intervalles d'observation finis. D'un point de vue, la fenêtre est appliquée aux données (en tant que pondération multiplicative) pour réduire l'ordre de la discontinuité à la limite de l'extension périodique. Ceci est accompli en faisant correspondre autant d'ordres de dérivée (des données pondérées) que possible à la frontière. Le moyen le plus simple d'obtenir cette correspondance est de définir la valeur de ces dérivées sur zéro ou proche de zéro. Ainsi, les données fenêtrées sont progressivement ramenées à zéro aux limites de sorte que l'extension périodique des données est continue dans de nombreux ordres de dérivées [136] [135].

1 Fenêtre de Hamming

La fenêtre de Hamming peut être considérée comme une fenêtre de Hanning modifiée. L'annulation parfaite du premier lobe latéral (à $\theta = 2,5[2\pi/N]$) se produit lorsque $\alpha =$

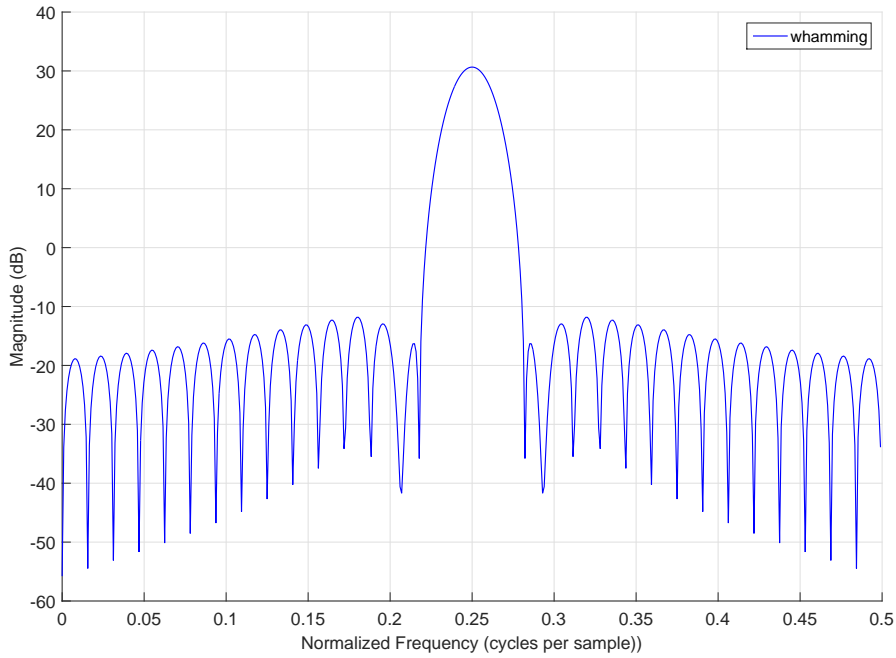


Figure A.1 – fenêtre de Hamming.

$25/46$ ($\alpha = 0,543478261$). Si alpha est sélectionné comme 0.54 (une approximation à $25/46$), le nouveau zéro se produit à $\theta = 2.6[2\pi/N]$ et une amélioration marquée du niveau des lobes latéraux est réalisée. Pour cette valeur de alpha, la fenêtre s'appelle la fenêtre de Hamming.

$$w(n) = \alpha + (1 - \alpha) \cos [2\pi Nn],$$

$$W(\theta) = \alpha D(\theta) + 0.5(1 - \alpha) \left[D\left(\theta - \frac{2\pi}{N}\right) + D\left(\theta + \frac{2\pi}{N}\right) \right] \quad (\text{A.1})$$

avec D le noyau de Dirichlet donné par :

$$D(\theta) = \exp(j\frac{\theta}{2}) \frac{\sin(\frac{N}{2}\theta)}{\sin(\frac{1}{2}\theta)} \quad (\text{A.2})$$

Les coefficients de la fenêtre de Hamming sont presque l'ensemble qui atteint les niveaux minimaux des lobes latéraux. Si alpha est sélectionné pour être 0.53856, le niveau des lobes latéraux est de -43 dB et la fenêtre résultante est un cas particulier des fenêtres de Blackman-Harris. La fenêtre de Hamming est représentée sur la Figure A.1. Notez l'atténuation profonde à la position du lobe latéral manquante. Notez également que la petite discontinuité

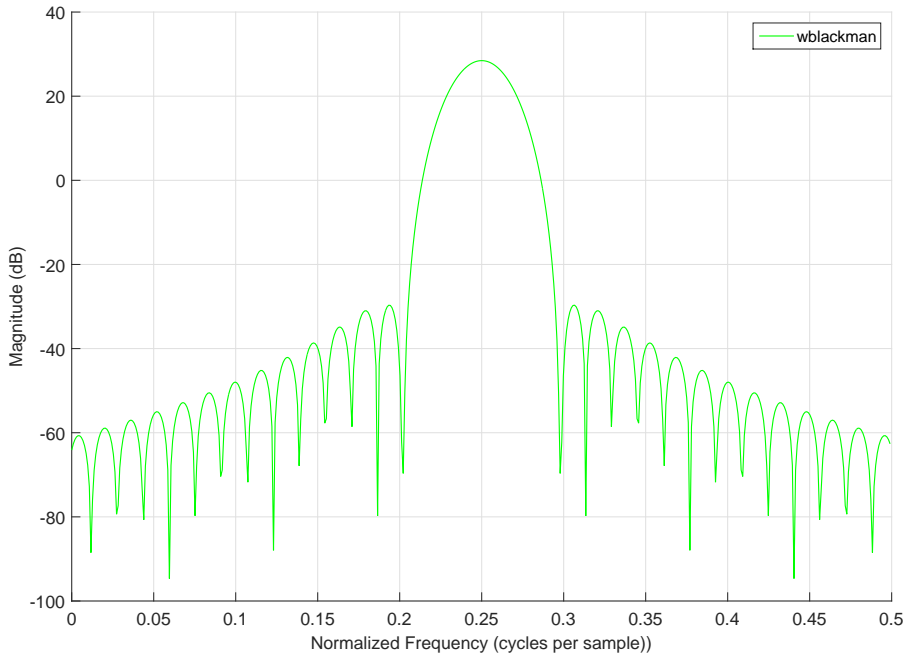


Figure A.2 – fenêtre de Blackman.

à la limite de la fenêtre a entraîné un taux de retombée de 6,0 dB par octave. La meilleure suppression des lobes latéraux se traduit par un niveau de lobe secondaire initial beaucoup plus faible de -42 dB.

2 Fenêtre de Blackman

Les fenêtres de Hamming et Hanning sont des exemples de fenêtres construites comme la somme des grains de Dirichlet décalés. Cette fenêtre de données est définie pour la transformée de Fourier finie dans l'Équation A.3 et pour la DFT dans l'Équation A.4 ; l'Équation A.5 correspond à la fenêtre spectrale résultante pour la DFT donnée comme sommation des noyaux de Dirichlet $D(8)$ définis par $W(8)$ (voir Figure A.2).

$$w(n) = \sum_{m=0}^{N/2} a_m \cos \left[\frac{2\pi}{N} mn \right], n = -\frac{N}{2}, \dots, -1, 0, 1, \dots, \frac{N}{2} \quad (\text{A.3})$$

$$w(n) = \sum_{m=0}^{N/2} (-1)^m a_m \cos \left[\frac{2\pi}{N} mn \right], n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (\text{A.4})$$

$$W(\theta) = \sum_{m=0}^{N/2} (-1)^m \frac{a_m}{2} \left[D\left(\theta - \frac{2\pi}{N}m\right) + D\left(\theta + \frac{2\pi}{N}m\right) \right], \quad (\text{A.5})$$

avec contrainte : $\sum_{m=0}^{N/2} a_m = 1.0$

Avec D est le noyau de Dirichlet donné par l'Équation A.2. Nous pouvons voir que la fenêtre de Hamming est de cette forme avec a_0 et a_1 étant non nulle. Nous voyons que sa fenêtre spectrale est considérée comme des sommations de noyaux à trois décalages. Nous pouvons construire des fenêtres avec n'importe quel coefficient K non nul et obtenir une sommation $(2K - 1)$ des noyaux. Nous reconnaissons, cependant, qu'une façon d'obtenir des fenêtres avec un lobe principal étroit est de restreindre K à un petit nombre entier. Blackman a examiné cette fenêtre pour $K = 3$ et a trouvé les valeurs des coefficients non nuls qui placent des zéros à $\theta = 3,5(2\pi/N)$ et à $\theta = 4,5(2\pi/N)$, la position des troisième et quatrième lobes secondaires respectivement, du noyau central de Dirichlet. Les coefficients approximatés sont $a_0 = 0.42$, $a_1 = 0.50$, et $a_2 = 0.08$ d'où l'Équation de la fenêtre de blackman est :

$$w(n) = 0.42 + 0.50 \cos\left[\frac{2\pi}{N}n\right] + 0.08 \cos\left[\frac{2\pi}{N}2n\right],$$

$$n = -\frac{N}{2}, \dots, -1, 0, 1, \dots, \frac{N}{2} \quad (\text{A.6})$$

3 Fenêtre de Kaiser

Kaiser a découvert une approximation simple de ces fonctions en termes de fonction Bessel modifiée de l'ordre zéro du premier type. La fenêtre de Kaiser-Bessel est définie par l'Équation A.7 (voir Figure A.3).

$$w(n) = \frac{I_0\left[\pi\alpha\sqrt{1.0 - \left(\frac{n}{N/2}\right)^2}\right]}{I_0[\pi\alpha]},$$

$$0 \leq |n| \leq \frac{N}{2},$$

$$I(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \left[\frac{x}{2}\right]^k \frac{1}{k!},$$

$$W(\theta) = \frac{N}{I_0(\alpha\pi)} \frac{\sinh[\sqrt{\alpha^2\pi^2 - (N\theta/2)^2}]}{\sqrt{\alpha^2\pi^2 - (N\theta/2)^2}} \quad (\text{A.7})$$

La fenêtre Kaiser maximise l'énergie du lobe principal de la fenêtre.

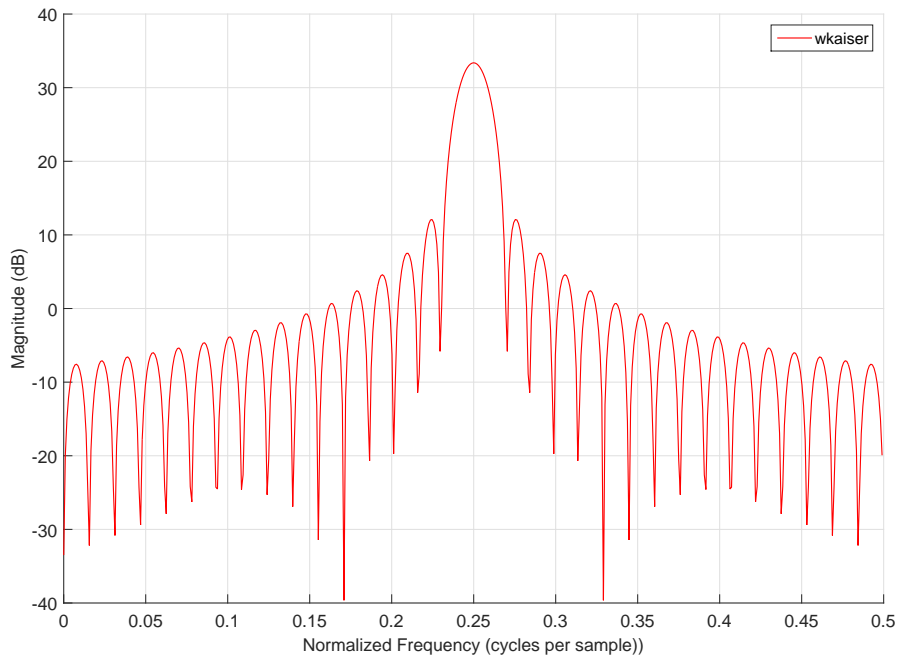


Figure A.3 – fenêtre de Kaiser.

$$\max_w \left[\frac{\text{énergie du lobe principal}}{\text{énergie du lobe latéral}} \right]$$

Les fonctions qui maximisent ce rapport sont appelées *fonctions d'onde sphéroïdale prolate*.

4 Fenêtre de Chebyshev ou Tchebitchev, ou Dolph-Chebyshev

(La transcription du nom étant phonétique, plusieurs orthographes sont possibles.) Pour cette fenêtre, le coefficient w est calculé ainsi par l'Équation A.8

$$w[k] = FFT^{-1} \left[\frac{\cos(n \cos^{-1}(\alpha \cos(\pi \frac{k}{n})))}{\cosh(n \cosh^{-1}(\alpha))} \right],$$

$$\alpha = \cosh(\cosh^{-1}(10)/n) \quad (\text{A.8})$$

avec k appartenant à l'intervalle $[0, n - 1]$.

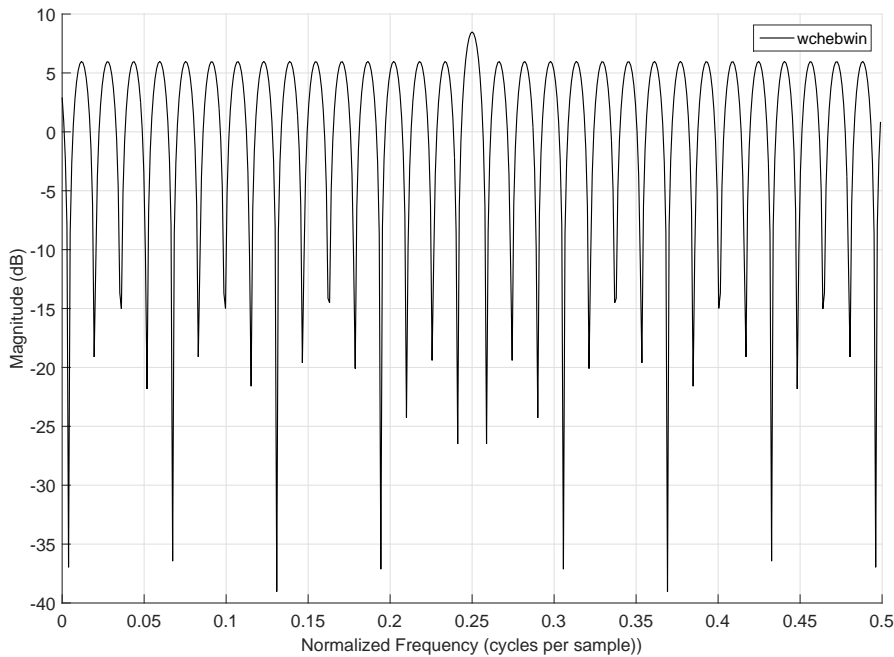


Figure A.4 – fenêtre de Chebichev.

5 Quelques interprétations sur les différents types de fenêtres

Largeur du lobe principal : La largeur du lobe principal est directement liée à la "résolution de fréquence". Plus étroit le lobe principal, plus sera sa résolution de fréquence (Possibilité de choisir les composants de fréquence les plus fins). La largeur du lobe principal est la mesure de la largeur du lobe principal à -3 dB ou -6 dB sous le pic du lobe principal. Lorsque la largeur du lobe principal diminue, l'énergie restante se propage aux lobes latéraux, augmentant ainsi la fuite spectrale / diminuant la précision de l'amplitude (diminution de la capacité de "détection"). Un compromis est nécessaire pour trouver un équilibre entre la détection et la résolution qui conviendrait à l'application en question.

Niveau du lobe latéral : Les lobes latéraux se produisent de chaque côté du lobe principal et ils se rapprochent de zéro à des multiples entiers de F_s / N (où F_s = Fréquence d'échantillonnage ; N est la longueur de FFT / DFT N-point). Les lobes latéraux affectent directement la mesure dans laquelle les composants fréquentiels adjacents fuient dans les intervalles de fréquence adjacents. Le niveau du lobe latéral est habituellement mesuré pour ce lobe latéral qui a le maximum de crête (comparé aux autres lobes latéraux). Il est mesuré en décibels par rapport au pic du lobe principal. Moins le niveau du lobe latéral d'une fenêtre sera plus sa capacité de détection de fréquences. Le taux de décroissance des lobes latéraux

est le taux de décroissance asymptotique en décibels par décennie de fréquence des pics des lobes latéraux. Pour une fenêtre "idéale" :

1) La largeur du lobe principal est très petite (résolution haute fréquence).

2) Le niveau du lobe latéral est très élevé (bonne suppression du bruit - capacité de détection élevée).

3) Les lobes latéraux tombent rapidement.

Même si vous n'utilisez pas de fenêtre, le signal est convolué avec une fenêtre de forme rectangulaire de hauteur uniforme, par la nature de prendre un instantané dans le temps du signal d'entrée et de travailler avec un signal discret. Cette convolution a un spectre caractéristique de fonction sinus. Pour cette raison, aucune fenêtre n'est souvent appelée fenêtre uniforme ou rectangulaire car il y a toujours un effet de fenêtrage.

Les fonctions de fenêtre Hamming et Hann ont toutes deux une forme sinusoïdale. Les deux fenêtres donnent un large pic mais des lobes latéraux faibles. Cependant, la fenêtre de Hann touche zéro aux deux extrémités en éliminant toute discontinuité. La fenêtre de Hamming n'atteint pas tout à fait zéro et présente donc toujours une légère discontinuité dans le signal. En raison de cette différence, la fenêtre de Hamming réussit mieux à annuler le lobe latéral le plus proche, mais à annuler les autres. Ces fonctions de fenêtre sont utiles pour les mesures de bruit où une meilleure résolution de fréquence que certaines autres fenêtres est souhaitée, mais les lobes latéraux modérés ne posent pas de problème.

La fenêtre de Hamming est proche d'une fenêtre de type Chebyshev pour la famille Hamming Généralisée. (Les polynômes de Chebyshev présentent un comportement d'équirippe, les fenêtres et les filtres de chebyshev optimaux peuvent être conçus en utilisant l'algorithme de Parks-McClellan.)

La fenêtre Blackman-Harris est similaire aux fenêtres Hamming et Hann. Le spectre résultant a un large pic, mais une bonne compression du lobe latéral. Il y a deux types principaux de cette fenêtre. Le Blackman-Harris à 4 termes est une bonne fenêtre polyvalente, avec un rejet du lobe latéral dans les 90s dB et un lobe principal modérément large. La fonction de fenêtre Blackman-Harris à 7 termes a toute la gamme dynamique dont vous avez besoin, mais elle est dotée d'un lobe principal large.

Une fenêtre de Kaiser-Bessel établit un équilibre entre les différents objectifs contradictoires de la précision de l'amplitude, de la distance du lobe latéral et de la hauteur du lobe latéral. Il se compare grossièrement aux fonctions de la fenêtre de Blackman-Harris, mais

pour la même largeur de lobe principal, les lobes du côté proche ont tendance à être plus élevés, mais les lobes latéraux plus éloignés sont plus bas. Le choix de cette fenêtre révèle souvent des signaux proches du bruit de fond.

Ce ne sont que quelques-unes des fonctions de fenêtre possibles. Il n'y a pas d'approche universelle pour sélectionner une fonction de fenêtre. Cependant, le tableau ci-dessous peut vous aider dans votre choix initial. Toujours comparer les performances des différentes fonctions de la fenêtre pour trouver le meilleur pour l'application.

REFERENCES

- [1] N. Poh, S. Bengio, [Database, protocols and tools for evaluating score-level fusion algorithms in biometric authentication](#), *Pattern Recogn.* 39 (2) (2006) 223–233. doi : [10.1016/j.patcog.2005.06.011](https://doi.org/10.1016/j.patcog.2005.06.011).
URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.patcog.2005.06.011>
- [2] N. Poh, T. Bourlai, J. Kittler, L. Allano, F. Alonso-Fernandez, O. Ambekar, J. Baker, B. Dorizzi, O. Fatukasi, J. Fierrez, H. Ganster, J. Ortega-Garcia, D. Maurer, A. A. Salah, T. Scheidat, C. Vielhauer, [Benchmarking quality-dependent and cost-sensitive score-level multimodal biometric fusion algorithms](#), *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*.
URL <http://www.science.uva.nl/research/publications/2010/PohTIFS2010>
- [3] N. Poh, T. Bourlai, J. Kittler, A. Salah, O. A. John, B. H. Ganster, L. Allano, O. Fatukasi, O. Ambekar, A biosecure (ds2) report on the technological evaluation of score-level quality-dependent and cost-sensitive multimodal biometric performance (2007).
- [4] R. R. Yager, On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decisionmaking, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* 18 (1) (1988) 183–190. doi:[10.1109/21.87068](https://doi.org/10.1109/21.87068).
- [5] N. Giocoli, [From wald to savage : homo economicus becomes a bayesian statistician](#), Mpra paper, University Library of Munich, Germany (2011).
URL <https://EconPapers.repec.org/RePEc:pra:mprapa:34117>
- [6] S. M. Kay, *Fundamentals of Statistical Signal Processing : Estimation Theory*, Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, USA, 1993.

- [7] M. K.-J. Liese, F., *Statistical Decision Theory : Estimation, Testing, and Selection*, Springer Series in Statistics, Springer-Verlag, New York, June 2008.
- [8] P. J. Brockwell, R. A. Davis, *Time Series : Theory and Methods*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1986.
- [9] D. Luenberger, [Optimization by Vector Space Methods](#), Professional Series, Wiley, 1997.
URL <https://books.google.dz/books?id=lZU0CAH4RccC>
- [10] A. Ross, K. Nandakumar, A. Jain, [Handbook of Multibiometrics](#), International Series on Biometrics, Springer US, 2006.
URL <https://books.google.dz/books?id=JpUdlJnuE2MC>
- [11] E. Boutellaa, F. Harizi, M. Bengherabi, S. Ait-Aoudia, A. Hadid, [Face verification using local binary patterns and maximum A posteriori vector quantization model](#), in : *Advances in Visual Computing - 9th International Symposium, ISVC 2013, Rethymnon, Crete, Greece, July 29-31, 2013. Proceedings, Part I, 2013*, pp. 539–549. doi:10.1007/978-3-642-41914-0_53.
URL https://doi.org/10.1007/978-3-642-41914-0_53
- [12] E. Boutellaa, M. Bengherabi, Z. Boulkenafet, F. Harizi, A. Hadid, [Face verification using local binary patterns generic histogram adaptation and chi-square based decision](#), in : *European Workshop on Visual Information Processing, EUVIP 2013, Paris, France, June 10-12, 2013, 2013*, pp. 142–147.
URL <http://ieeexplore.ieee.org/document/6623966/>
- [13] M. Bengherabi, L. Mezai, F. Harizi, A. Guessoum, M. Cheriet, [Application of 2dpca based techniques in DCT domain for face recognition](#), in : *Proceedings of the International Workshop on Computational Intelligence in Security for Information Systems, CISIS'08, Genova, Italy, October 23-24, 2008, 2008*, pp. 243–250. doi:10.1007/978-3-540-88181-0_31.
URL https://doi.org/10.1007/978-3-540-88181-0_31
- [14] M. Bengherabi, L. Mezai, F. Harizi, A. Guessoum, M. Cheriet, *Score fusion of svd and dct-rlda for face recognition*, *First Workshops on Image Processing Theory, Tools and Applications (2008)* 1–8.

- [15] M. Bengherabi, L. Mezai, F. Harizi, A. Guessoum, M. Cheriet, Face recognition based on 2dpca, diapca and dia2dpca in dct domain, 2008. IEEE SSD 2008. 5th International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices (2008) 1–6.
- [16] M. Bengherabi, L. Mezai, F. Harizi, A. Guessoum, M. Cheriet, [2dpca-based techniques in DCT domain for face recognition](#), IJISTA 7 (3) (2009) 243–265. doi: [10.1504/IJISTA.2009.027108](https://doi.org/10.1504/IJISTA.2009.027108).
URL <https://doi.org/10.1504/IJISTA.2009.027108>
- [17] E. el Khoury, B. Vesnicer, J. Franco-Pedroso, R. P. V. Violato, Z. Boulkcnafet, L. M. M. Fernandez, M. Díez, J. Kosmala, H. Khemiri, T. Cipr, R. Saeidi, M. Günther, J. Zganec-Gros, R. Zazo-Candil, F. O. Simões, M. Bengherabi, A. Á. Marquina, M. Peñagarikano, A. Abad, M. Boulayemen, P. Schwarz, D. A. van Leeuwen, J. Gonzalez-Dominguez, M. U. Neto, E. Boutellaa, P. G. Vilda, A. Varona, D. Petrovska-Delacrétaz, P. Matejka, J. González-Rodríguez, T. F. Pereira, F. Harizi, L. J. Rodríguez-Fuentes, L. E. Shafey, M. A. Angeloni, G. Bordel, G. Chollet, S. Marcel, [The 2013 speaker recognition evaluation in mobile environment](#), in : International Conference on Biometrics, ICB 2013, 4-7 June, 2013, Madrid, Spain, 2013, pp. 1–8. doi: [10.1109/ICB.2013.6613025](https://doi.org/10.1109/ICB.2013.6613025).
URL <https://doi.org/10.1109/ICB.2013.6613025>
- [18] M. Bengherabi, F. Harizi, M. Cheriet, A. Guessoum, [A framework for a GMM-UBM based speaker verification and the need of a large arabic database](#), in : 9th International Symposium on Signal Processing and Its Applications, ISSPA 2007, Sharjah, United Arab Emirates, February 12-15, 2007, 2007, pp. 1–4. doi: [10.1109/ISSPA.2007.4555484](https://doi.org/10.1109/ISSPA.2007.4555484).
URL <https://doi.org/10.1109/ISSPA.2007.4555484>
- [19] M. Bengherabi, B. Tounsi, H. Bessalah, F. H. and, Forensic identification reporting using a gmm based speaker recognition system dedicated to algerian arabic dialect speakers, 2008. ICTTA 2008. 3rd International Conference on Information and Communication Technologies : From Theory to Applications (2008) 1–5.
- [20] F. Harizi, A. Gessoum, K. Ghanem, [Partial aggregation of users for biometric scores normalization](#), Digital Signal Processing 71 (Supplement C) (2017) 144 – 163.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.dsp.2017.09.008>.

URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1051200417302117>

- [21] E. Boutellaa, F. Harizi, M. Bengherabi, S. Ait-Aoudia, A. Hadid, [Face verification using local binary patterns and generic model adaptation](#), *IJBM* 7 (1) (2015) 31–44. doi:[10.1504/IJBM.2015.069502](https://doi.org/10.1504/IJBM.2015.069502).
URL <https://doi.org/10.1504/IJBM.2015.069502>
- [22] M. Fedila, F. Harizi, M. Bengherabi, A. Amrouche, [Robust speaker verification using a new front end based on multitaper and gammatone filters](#), in : Tenth International Conference on Signal-Image Technology and Internet-Based Systems, SITIS 2014, Marrakech, Morocco, November 23-27, 2014, 2014, pp. 99–103. doi:[10.1109/SITIS.2014.111](https://doi.org/10.1109/SITIS.2014.111).
URL <https://doi.org/10.1109/SITIS.2014.111>
- [23] N. Asbai, M. Bengherabi, F. Harizi, A. Amrouche, [Effect of the front-end processing on speaker verification performance using PCA and scores level fusion](#), in : E-Business and Telecommunications - International Joint Conference, ICETE 2013, Reykjavik, Iceland, July 29-31, 2013, Revised Selected Papers, 2013, pp. 359–368. doi:[10.1007/978-3-662-44788-8_21](https://doi.org/10.1007/978-3-662-44788-8_21).
URL https://doi.org/10.1007/978-3-662-44788-8_21
- [24] N. Asbai, M. Bengherabi, F. Harizi, A. Amrouche, [Improving the performance of speaker verification systems under noisy conditions using low level features and score level fusion](#), in : SIGMAP and WINSYS 2013 - Proceedings of the 10th International Conference on Signal Processing and Multimedia Applications and 10th International Conference on Wireless Information Networks and Systems, Reykjavík, Iceland, 29-31 July, 2013, 2013, pp. 33–38.
URL <http://ieeexplore.ieee.org/document/7184667/>
- [25] N. Asbai, M. Bengherabi, A. Amrouche, F. Harizi, [Improving speaker verification robustness by front-end diversity and score level fusion](#), in : Ninth International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems, SITIS 2013, Kyoto, Ja-

- pan, December 2-5, 2013, 2013, pp. 136–142. doi:10.1109/SITIS.2013.33.
URL <https://doi.org/10.1109/SITIS.2013.33>
- [26] M. Bengherabi, F. Harizi, N. Poh, E. Boutellaa, A. Guessoum, M. Cheriet, **Improving biometric verification systems by fusing z-norm and f-norm**, in : Biometric Recognition - 7th Chinese Conference, CCBP 2012, Guangzhou, China, December 4-5, 2012. Proceedings, 2012, pp. 278–287. doi:10.1007/978-3-642-35136-5_34.
URL https://doi.org/10.1007/978-3-642-35136-5_34
- [27] M. Bengherabi, F. Harizi, A. Guessoum, M. Cheriet, **Incorporating user specific normalization in multimodal biometric fusion system**, in : 11th International Conference on Information Science, Signal Processing and their Applications, ISSPA 2012, Montreal, QC, Canada, July 2-5, 2012, 2012, pp. 466–471. doi:10.1109/ISSPA.2012.6310596.
URL <https://doi.org/10.1109/ISSPA.2012.6310596>
- [28] M. Bengherabi, L. Mezai, F. Harizi, A. Guessoum, M. Cheriet, **Robust authentication using likelihood ratio based score fusion of voice and face**, in : SIGMAP 2009 - Proceedings of the International Conference on Signal Processing and Multimedia Applications, Milan, Italy, July 7-10, 2009, SIGMAP is part of ICETE - The International Joint Conference on e-Business and Telecommunications, 2009, pp. 57–61.
- [29] A. K. Jain, A. Ross, **Multibiometric systems**, Commun. ACM 47 (1) (2004) 34–40. doi:10.1145/962081.962102.
URL <http://doi.acm.org/10.1145/962081.962102>
- [30] F. Harizi, K. Ghanem, M. Nedil, A. Guessoum, **Adopting ordered weighted averaging approach in multitaper temporal channel estimates to enhance channel capacity**, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters 16 (Supplement C) (2017) 2861–2864. doi:<https://doi.org/10.1109/LAWP.2017.2750212>.
- [31] F. R. Hampel, E. M. Ronchetti, P. J. Rousseeuw, W. A. Stahel, **Robust Statistics - The Approach Based on Influence Functions**, Wiley, 1986, missing.
- [32] D. A. Reynolds, **Gaussian mixture models**, in : Encyclopedia of Biometrics, Second Edition, 2015, pp. 827–832. doi:10.1007/978-1-4899-7488-4_196.
URL https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7488-4_196

- [33] R. O. Duda, P. E. Hart, D. G. Stork, *Pattern Classification (2Nd Edition)*, Wiley-Interscience, New York, NY, USA, 2000.
- [34] E. T. Jaynes, *Probability theory : The logic of science*, Cambridge University Press, Cambridge, 2003.
- [35] S. Z. Li, A. K. Jain (Eds.), *Encyclopedia of Biometrics, Second Edition*, Springer US, 2015. doi:[10.1007/978-1-4899-7488-4](https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7488-4).
URL <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7488-4>
- [36] D. Williams, *Weighing the Odds : A Course in Probability and Statistics*, Cambridge University Press, 2001. doi:[10.1017/CBO9781139164795](https://doi.org/10.1017/CBO9781139164795).
- [37] S. M. Kay, *Fundamentals of Statistical Signal Processing, Volume 2 : Detection Theory*, Prentice-Hall Inc, New Jersey, 1993.
- [38] G. Doddington, W. Liggett, A. Martin, M. Przybocki, D. Reynolds, *Sheeps, goats, lambs and wolves : A statistical analysis of speaker performance in the nist 1998 speaker recognition evaluation*.
- [39] N. Yager, T. Dunstone., *Worms, chameleons, phantoms and doves : New additions to the biometric menagerie*, IEEE Workshop on Automatic Identification Advanced Technologies (2007) pages 1–6.
- [40] N. Poh, J. Kittler, *A biometric menagerie index for characterising template/model-specific variation*, in : *Advances in Biometrics, Third International Conference, ICB 2009, Alghero, Italy, June 2-5, 2009. Proceedings, 2009*, pp. 816–827. doi:[10.1007/978-3-642-01793-3.83](https://doi.org/10.1007/978-3-642-01793-3_83).
URL http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-01793-3_83
- [41] N. Yager, T. Dunstone, *The biometric menagerie*, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 32 (2) (2010) 220–230. doi:[10.1109/TPAMI.2008.291](https://doi.org/10.1109/TPAMI.2008.291).
URL <http://dx.doi.org/10.1109/TPAMI.2008.291>
- [42] A. K. Jain, A. A. Ross, *Learning user-specific parameters in a multibiometric system*, in : *Proceedings of the 2002 International Conference on Image Processing, ICIP 2002, Rochester, New York, USA, September 22-25, 2002, 2002*, pp. 57–60.

- [doi:10.1109/ICIP.2002.1037958](https://doi.org/10.1109/ICIP.2002.1037958).
 URL <https://doi.org/10.1109/ICIP.2002.1037958>
- [43] A. Jain, K. Nandakumar, A. Ross, [Score normalization in multimodal biometric systems](#), *Pattern Recogn.* 38 (12) (2005) 2270–2285. [doi:10.1016/j.patcog.2005.01.012](https://doi.org/10.1016/j.patcog.2005.01.012).
 URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.patcog.2005.01.012>
- [44] J. Fierrez-Aguilar, D. Garcia-Romero, J. Ortega-Garcia, J. Gonzalez-Rodriguez, Exploiting general knowledge in user-dependent fusion strategies for multimodal biometric verification, in : *Proc. IEEE Intl. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing, ICASSP, Vol. 5, 2004*, pp. 617–620.
- [45] J. Fierrez-Aguilar, J. Ortega-Garcia, J. Gonzalez-Rodriguez, Target dependent score normalization techniques and their application to signature verification, *IEEE Trans. on Systems, Man & Cybernetics - Part C, Special Issue on Biometric Systems* 35 (3) (2005) 418–425, invited Paper.
- [46] J. Fierrez-Aguilar, D. Garcia-Romero, J. Ortega-Garcia, J. Gonzalez-Rodriguez, Adapted user-dependent multimodal biometric authentication exploiting general information, *Pattern Recognition Letters* 26 (16) (2005) 2628–2639.
- [47] N. Poh, A. Merati, J. Kittler, Adaptive client-impostor centric score normalization : A case study in fingerprint verification, in : *2009 IEEE 3rd International Conference on Biometrics : Theory, Applications, and Systems, 2009*, pp. 1–7. [doi:10.1109/BTAS.2009.5339033](https://doi.org/10.1109/BTAS.2009.5339033).
- [48] V. R. Apsingekar, P. L. D. Leon, [Speaker verification score normalization using speaker model clusters](#), *Speech Communication* 53 (1) (2011) 110–118. [doi:10.1016/j.specom.2010.07.001](https://doi.org/10.1016/j.specom.2010.07.001).
 URL <https://doi.org/10.1016/j.specom.2010.07.001>
- [49] S. Emerich, E. Lupu, C. Rusu, [A new set of features for a bimodal system based on on-line signature and speech](#), *Digital Signal Processing* 23 (3) (2013) 928 – 940. [doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.dsp.2012.11.003](https://doi.org/10.1016/j.dsp.2012.11.003).
 URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1051200412002722>

- [50] A. Ross, A. Rattani, M. Tistarelli, [Exploiting the "doddington zoo" effect in biometric fusion](#), in : Proceedings of the 3rd IEEE International Conference on Biometrics : Theory, Applications and Systems, BTAS'09, IEEE Press, Piscataway, NJ, USA, 2009, pp. 264–270.
URL <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1736406.1736448>
- [51] N. Poh, J. Kittler, On the use of log-likelihood ratio based model-specific score normalisation in biometric authentication, In LNCS 4542, IEEE/IAPR Proc. Intl Conf. Biometrics (ICB07), (2007) 614–624.
- [52] M. Stone, [The opinion pool](#), Ann. Math. Statist. 32 (4) (1961) 1339–1342. doi: [10.1214/aoms/1177704873](https://doi.org/10.1214/aoms/1177704873).
URL <http://dx.doi.org/10.1214/aoms/1177704873>
- [53] T. K. Ho, J. J. Hull, S. N. Srihari, [Decision combination in multiple classifier systems](#), IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 16 (1) (1994) 66–75. doi: [10.1109/34.273716](https://doi.org/10.1109/34.273716).
URL <http://dx.doi.org/10.1109/34.273716>
- [54] T. K. Ho, J. J. Hull, S. N. Srihari, On multiple classifier systems for pattern recognition, IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell (1994) 66–75.
- [55] K. Veeramachaneni, L. A. Osadciw, A. Ross, N. Srinivas, [Decision-level fusion strategies for correlated biometric classifiers](#), in : IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR Workshops 2008, Anchorage, AK, USA, 23-28 June, 2008, 2008, pp. 1–6. doi: [10.1109/CVPRW.2008.4563104](https://doi.org/10.1109/CVPRW.2008.4563104).
URL <http://dx.doi.org/10.1109/CVPRW.2008.4563104>
- [56] J. Kittler, M. Hatef, R. P. W. Duin, J. Matas, [On combining classifiers](#), IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 20 (3) (1998) 226–239. doi: [10.1109/34.667881](https://doi.org/10.1109/34.667881).
URL <http://dx.doi.org/10.1109/34.667881>
- [57] J. Kittler, M. Hatef, R. P. W. Duin, J. Matas, On combining classifiers, IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE 20 (1998) 226–239.

- [58] J. A. Benediktsson, P. H. Swain, [Consensus theoretic classification methods](#), IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics 22 (4) (1992) 688–704. doi:10.1109/21.156582.
URL <http://dx.doi.org/10.1109/21.156582>
- [59] A. Pahliani, P. Lima, Cooperative opinion pool : a new method for sensor fusion by a robot team, in : IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2007.
- [60] W. H. ping1, P. H. xia2, The application of fusion technology for speaker recognition, IJCSNS 7 (300) (2007) 187–203.
- [61] R. Cooke, Experts in uncertainty, Oxford University Press, 1991.
- [62] R. T. Clemen, R. L. Winkler, Combining probability distributions from experts in risk analysis, Risk Analysis 19 (2) (1999) 187–203.
- [63] R. R. Yager, J. Kacprzyk, The ordered weighted averaging operators : theory and applications, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1997.
- [64] A. K. Jain, K. Nandakumar, A. Ross, Score normalization in multimodal biometric systems, Tech. Rep. MSU-CSE-04-14, Department of Computer Science, Michigan State University, East Lansing, Michigan (April 2004).
- [65] C. Sanderson, K. K. Paliwal, [Identity verification using speech and face information](#), Digital Signal Processing 14 (5) (2004) 449 – 480. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.dsp.2004.05.001>.
URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1051200404000363>
- [66] A. P. Dempster, N. M. Laird, D. B. Rubin, Maximum likelihood from incomplete data via the em algorithm, JOURNAL OF THE ROYAL STATISTICAL SOCIETY, SERIES B 39 (1) (1977) 1–38.
- [67] L. Breiman, Bagging predictors, in : Machine Learning, 1996, pp. 123–140.
- [68] A. Ullah, [Entropy, divergence and distance measures with econometric applications](#), Journal of Statistical Planning and Inference 49 (1) (1996) 137 – 162,

- econometric Methodology, Part I. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/0378-3758\(95\)00034-8](http://dx.doi.org/10.1016/0378-3758(95)00034-8).
 URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378375895000348>
- [69] A. Carvalho, K. Larson, A consensual linear opinion pool, arXiv, 2013.
- [70] M. H. DeGroot, Reaching a consensus, *Jou* 69(345) (1974) 118–121.
- [71] S. Eguchi, J. Copas, [Interpreting kullbackleibler divergence with the neymanpearson lemma](#), *Journal of Multivariate Analysis* 97 (9) (2006) 2034 – 2040, special Issue dedicated to Prof. Fujikoshi. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jmva.2006.03.007>.
 URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0047259X06000868>
- [72] A. Smith, T. Cohn, M. Osborne, [Logarithmic opinion pools for conditional random fields](#), in : Proceedings of the 43rd Annual Meeting on Association for Computational Linguistics, ACL '05, Association for Computational Linguistics, Stroudsburg, PA, USA, 2005, pp. 18–25. doi:[10.3115/1219840.1219843](https://doi.org/10.3115/1219840.1219843).
 URL <http://dx.doi.org/10.3115/1219840.1219843>
- [73] T. Heskes, Selecting weighting factors in logarithmic opinion pools, in : Advances in Neural Information Processing Systems, The MIT Press, 1998, pp. 266–272.
- [74] L. Breiman, [Heuristics of instability and stabilization in model selection](#), *Ann. Statist.* 24 (6) (1996) 2350–2383. doi:[10.1214/aos/1032181158](https://doi.org/10.1214/aos/1032181158).
 URL <http://dx.doi.org/10.1214/aos/1032181158>
- [75] J. H. Friedman, U. Fayyad, On bias, variance, 0/1-loss, and the curse-of-dimensionality, *Data Mining and Knowledge Discovery* 1 (1997) 55–77.
- [76] N. Poh, S. Bengio, [How do correlation and variance of base-experts affect fusion in biometric authentication tasks ?](#), *IEEE Trans. on Signal Processing*.
 URL <http://publications.idiap.ch/downloads/reports/2005/norman-2005-TSP.pdf>
- [77] R. Tibshirani, Bias, variance and prediction error for classification rules (1996).

- [78] A. Morales, J. Fierrez, J. Ortega-Garcia, Towards predicting good users for biometric recognition based on keystroke dynamics, in : Proc. of European Conference on Computer Vision Workshops, Vol. 8926 of LNCS, Springer, 2014, pp. 711–724.
- [79] S. Bengio, J. Mariethoz, The expected performance curve : a new assessment measure for person authentication (2004).
- [80] ANSI, Ansi x9.84-2001, biometric information management and security.
- [81] A. P. Bradley, [The use of the area under the roc curve in the evaluation of machine learning algorithms](#), Pattern Recogn. 30 (7) (1997) 1145–1159. doi:10.1016/S0031-3203(96)00142-2.
URL [http://dx.doi.org/10.1016/S0031-3203\(96\)00142-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0031-3203(96)00142-2)
- [82] T. Fawcett, [An introduction to roc analysis](#), Pattern Recogn. Lett. 27 (8) (2006) 861–874. doi:10.1016/j.patrec.2005.10.010.
URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.patrec.2005.10.010>
- [83] A. Martin, G. Doddington, T. Kamm, M. Ordowski, M. Przybocki, The det curve in assessment of detection task performance, 1997, pp. 1895–1898.
- [84] K. Messer, J. Matas, J. Kittler, J. Luetin, G. Maitre, Xm2vtsdb : The extended m2vts database, in : Second International Conference on Audio and Video-based Biometric Person Authentication, 1999, pp. 72–77.
- [85] [National Institute of Standards and Technology. \(2010\). : Nist biometric scores set. available at](#), accessed : 2010-02-01.
URL <http://www.itl.nist.gov/iad/894.03/biometricscores/>
- [86] J. Ortega-Garcia, J. Fierrez, F. Alonso-Fernandez, J. Galbally, M. Freire, J. Gonzalez-Rodriguez, C.Garcia-Mateo, J.-L.Alba-Castro, E.Gonzalez-Agulla, E.Otero-Muras, S.Garcia-Salicetti, L.Allano, B.Ly-Van, B.Dorizzi, J.Kittler, T.Bourlai, N.Poh, F.Deravi, M.Ng, M.Fairhurst, J.Hennebert, A.Humm, M.Tistarelli, L.Brodo, J.Richiardi, A.Drygajlo, H.Ganster, F.M.Sukno, S.-K.Pavani, A.Frangi, L.Akarun, A.Savran, The multi-scenario multi-environment biosecure multimodal database (bmdb), IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence 32 (6) (2010) 1097–1111. doi:<http://dx.doi.org/10.1109/TPAMI.2009.76>.

- [87] G. Shevlyakov, K. Andrea, L. Choudur, P. Smirnov, A. Ulanov, N. Vassilieva, Robust versions of the tukey boxplot with their application to detection of outliers, in : 2013 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 2013, pp. 6506–6510. doi:10.1109/ICASSP.2013.6638919.
- [88] Accessed : 2010-09-01. [link].
 URL <http://personal.ee.surrey.ac.uk/Personal/Norman.Poh/web/fusionq/main.php?bodyfile=struct.html>
- [89] A. Ross, A. Jain, **Information fusion in biometrics**, Pattern Recogn. Lett. 24 (13) (2003) 2115–2125. doi:10.1016/S0167-8655(03)00079-5.
 URL [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8655\(03\)00079-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8655(03)00079-5)
- [90] L. Latha, S. Thangasamy, Robust way of multimodal biometric score normalization, Journal of Applied Security Research 7 (1) (2012) 59–70.
- [91] K. Nguyen, S. Denman, S. Sridharan, C. Fookes, **Score-level multibiometric fusion based on dempster-shafer theory incorporating uncertainty factors**, IEEE Trans. Human-Machine Systems 45 (1) (2015) 132–140. doi:10.1109/THMS.2014.2361437.
 URL <https://doi.org/10.1109/THMS.2014.2361437>
- [92] E. Griffith, **802.1 in : The battle begins**. enterprise itplanet.com networking. (2004)., Tech. rep. (2004).
 URL <http://www.enterpriseitplanet.com/networking/news/article.php/3380511>
- [93] F. Group, **Advanced wireless technologies : Mimo comes of age**. airgo network. (2003)., Tech. rep.
 URL http://www.airgonetworks.com/product_casestudies.html
- [94] R.-G. Jones, V. K., R. V. Nee, **Mimo answers high-rate wlan call.**, EE Times.
 URL <http://eetimes.com/showArticle.jhtml?articleID=18310191>
- [95] 3gpp (third generation partnership project). electronics, lg. more results on d-txaa for mimo., Tech. rep., TSG RAN WG1 37 R1-040484, Montreal, Canada. (2004).

- [96] 3gpp (third generation partnership project). text proposal for mimo tr25.876 v1 .2.0 (s-parc)., Tech. rep., TSG RAN WG1 36 RI-040308, Malaga, Spain. (2004).
- [97] 3gpp (third generation partnership project). closed loop mimo with 4 tx and 2 rx antennas., Tech. rep., TSG RAN WG1 36RI-040206, Malaga, Spain. (2004).
- [98] 3gpp (third generation partnership project). samsung and snu (2004). text proposal for mimo tr25.876 v1 .3.0., Tech. rep., TSG RAN WG1 37R1 -040419, Montreal, Canada. (2004). (2004).
- [99] C. C. Smith, J. F. Dahl, R. J. Thornhill, [The duality of leakage and aliasing and improved digital spectral analysis techniques](#), *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*. 118 (1-2) (1996) 741–747. doi:10.1115/1.2802351.
URL <http://dx.doi.org/10.1115/1.2802351>
- [100] M. O’Hagan, Aggregating template or rule antecedents in real-time expert systems with fuzzy set logic, in : *Twenty-Second Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*, Vol. 2, 1988, pp. 681–689.
- [101] M. Tan, J. Chen, Comparison and analysis of mimo channel capacity, in : *2007 International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, 2007, pp. 299–301. doi:10.1109/WICOM.2007.81.
- [102] A. Goldsmith, S. A. Jafar, N. Jindal, S. Vishwanath, Capacity limits of mimo channels, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* 21 (5) (2003) 684–702. doi:10.1109/JSAC.2003.810294.
- [103] A. Lamminen, J. Saily, A. Vimpari, 60-ghz patch antennas and arrays on ltcc with embedded-cavity substrates, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 56 (2008) 2865–2874.
- [104] J. W. Wallace, M. A. Jensen, Mutual coupling in mimo wireless systems : a rigorous network theory analysis, *IEEE Transactions on Wireless Communications* 3 (4) (2004) 1317–1325. doi:10.1109/TWC.2004.830854.
- [105] N. Moraitis, P. Constantinou, Indoor channel measurements and characterization at 60 ghz for wireless local area network applications, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 52 (12) (2004) 3180–3189. doi:10.1109/TAP.2004.836422.

- [106] T. Rappaport, *Wireless communications : Principles and practice*, 2nd Edition, Prentice Hall communications engineering and emerging technologies series, Prentice Hall, 2002, includes bibliographical references and index.
- [107] N. Poh, A. Rattani, M. Tistarelli, J. Kittler, Group-specific score normalization for biometric systems, in : *IEEE Computer Society Workshop on Biometrics, CVPR2010*, 2010.
- [108] MS Windows NT kernel description, <http://http://www.engineersgarage.com>, accessed : 2010-09-30.
- [109] N. Poh, [Norman Poh matlab codes and databases scores](http://personal.ee.surrey.ac.uk/Personal/Norman.Poh/), accessed : 2010-09-30.
URL <http://personal.ee.surrey.ac.uk/Personal/Norman.Poh/>
- [110] Y. Narukawa, [Modeling Decisions : Information Fusion and Aggregation Operators](http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=9EB9B57B01FA9EBC9F7E165330C660AD), Cognitive Technologies, 2007.
URL <http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=9EB9B57B01FA9EBC9F7E165330C660AD>
- [111] A. J. Mansfield, J. L. Wayman, Tech. rep., National Physical Laboratory (2008).
- [112] J. Baldrige, M. Osborne, [Active learning and logarithmic opinion pools for HPSG parse selection](http://dx.doi.org/10.1017/S1351324906004396), *Natural Language Engineering* 14 (2) (2008) 191–222. doi:10.1017/S1351324906004396.
URL <http://dx.doi.org/10.1017/S1351324906004396>
- [113] N. Poh, S. Bengio, How do correlation and variance of base-experts affect fusion in biometric authentication tasks ?, *Idiap-RR Idiap-RR-18-2004, IDIAP* (0 2004).
- [114] K.-A. Toh, J. Kim, S. Lee, [Biometric scores fusion based on total error rate minimization](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031320307003627), *Pattern Recognition* 41 (3) (2008) 1066 – 1082, part Special issue : Feature Generation and Machine Learning for Robust Multimodal Biometrics. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.patcog.2007.07.020>.
URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031320307003627>

- [115] K. Nandakumar, Y. Chen, S. C. Dass, A. K. Jain, Biometric score fusion : Likelihood ratio, matcher correlation and image quality, Tech. Rep. MSU-CSE-07-18, Department of Computer Science, Michigan State University, East Lansing, Michigan (March 2007).
- [116] N. Poh, S. Bengio, Database, protocol and tools for evaluating score-level fusion algorithms in biometric authentication, in : Fifth Int'l. Conf. Audio- and Video-Based Biometric Person Authentication AVBPA, 2005.
- [117] N. Poh, S. Bengio, Database, protocol and tools for evaluating score-level fusion algorithms in biometric authentication, Idiap-RR Idiap-RR-44-2004, IDIAP (0 2004).
- [118] S. C. Dass, K. Nandakumar, A. K. Jain, [A Principled Approach to Score Level Fusion in Multimodal Biometric Systems](#), Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2005, pp. 1049–1058. doi:10.1007/11527923_109.
URL http://dx.doi.org/10.1007/11527923_109
- [119] R. Ranjan, T. Gneiting, [Combining probability forecasts](#), Journal of the Royal Statistical Society Series B 72 (1) (2010) 71–91.
URL <http://EconPapers.repec.org/RePEc:bla:jorssb:v:72:y:2010:i:1:p:71-91>
- [120] A. K. Jain, M. N. Murty, P. J. Flynn, [Data clustering : A review](#), ACM Comput. Surv. 31 (3) (1999) 264–323. doi:10.1145/331499.331504.
URL <http://doi.acm.org/10.1145/331499.331504>
- [121] M. Abramowitz, I. A. Stegun, Handbook of mathematical functions with formulas, graphs, and mathematical tables, Vol. 55 of National Bureau of Standards Applied Mathematics Series, For sale by the Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 1964.
- [122] N. Poh, A. Ross, W. Lee, J. Kittler, [A user-specific and selective multimodal biometric fusion strategy by ranking subjects](#), Pattern Recogn. 46 (12) (2013) 3341–3357. doi:10.1016/j.patcog.2013.03.018.
URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.patcog.2013.03.018>

- [123] J. M. Blair, C. A. Edwards, J. H. Johnson, Rational Chebyshev approximations for the inverse of the error function, *Math. Comp.* 30 (136) (1976) 827830.
- [124] V. Štruc, J. Žganec Gros, B. Vesnicer, N. Pavešić, [Beyond parametric score normalisation in biometric verification systems](#), *IET Biometrics* 3 (2) (2014) 62–74. doi:10.1049/iet-bmt.2013.0076.
URL http://luks.fe.uni-lj.si/nluks/wp-content/uploads/2016/09/IET_Vito.pdf
- [125] R. Auckenthaler, M. Carey, H. Lloyd-Thomas, [Score normalization for text-independent speaker verification systems](#), *Digital Signal Processing* 10 (1) (2000) 42 – 54. doi:http://dx.doi.org/10.1006/dspr.1999.0360.
URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1051200499903603>
- [126] A. K. Jain, A. Ross, [Multibiometric systems](#), *Commun. ACM* 47 (1) (2004) 34–40. doi:10.1145/962081.962102.
URL <http://doi.acm.org/10.1145/962081.962102>
- [127] Accessed : 2010-09-01. [\[link\]](#).
URL http://personal.ee.surrey.ac.uk/Personal/Norman.Poh/web/fusionq/main.php?bodyfile=entry_page.html
- [128] F. Harizi, A. Gessoum, K. Ghanem, [Partial aggregation of users for biometric scores normalization](#), *Digital Signal Processing* 71 (2017) 144 – 163. doi:https://doi.org/10.1016/j.dsp.2017.09.008.
URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1051200417302117>
- [129] H. D. J., [Statistical decision theory : Estimation, testing, and selection by friedrich liese, klausj. miescke](#), *International Statistical Review* 76 (3) 450–450. arXiv:https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1751-5823.2008.00062-15.x, doi:10.1111/j.1751-5823.2008.00062_15.x.
URL <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1751-5823.2008.00062-15.x>

- [130] D. A. Reynolds, T. F. Quatieri, R. B. Dunn, [Speaker verification using adapted gaussian mixture models](#), *Digital Signal Processing* 10 (1) (2000) 19 – 41. doi:<https://doi.org/10.1006/dspr.1999.0361>.
URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1051200499903615>
- [131] D. A. Reynolds, [Speaker identification and verification using gaussian mixture speaker models](#), *Speech Commun.* 17 (1-2) (1995) 91–108. doi:[10.1016/0167-6393\(95\)00009-D](https://doi.org/10.1016/0167-6393(95)00009-D).
URL [http://dx.doi.org/10.1016/0167-6393\(95\)00009-D](http://dx.doi.org/10.1016/0167-6393(95)00009-D)
- [132] [Linear Models : Robust Estimation](#), Wiley-Blackwell, 2011, Ch. 6, pp. 307–341. arXiv:<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/9781118186435.ch6>, doi:[10.1002/9781118186435.ch6](https://doi.org/10.1002/9781118186435.ch6).
URL <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781118186435.ch6>
- [133] [Multitaper spectral analysis of highfrequency seismograms](#), *Journal of Geophysical Research : Solid Earth* 92 (B12) (1987) 12675–12684. arXiv:<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/JB092iB12p12675>, doi:[10.1029/JB092iB12p12675](https://doi.org/10.1029/JB092iB12p12675).
URL <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/JB092iB12p12675>
- [134] C. Tepedelenlioglu, A. Abdi, G. B. Giannakis, [The ricean k factor : Estimation and performance analysis](#), *Trans. Wireless. Comm.* 2 (4) (2003) 799–810. doi:[10.1109/TWC.2003.814338](https://doi.org/10.1109/TWC.2003.814338).
URL <https://doi.org/10.1109/TWC.2003.814338>
- [135] F. J. Harris, [On the use of windows for harmonic analysis with the discrete fourier transform](#), *Proceedings of the IEEE* 66 (1) (1978) 51–83. doi:[10.1109/PROC.1978.10837](https://doi.org/10.1109/PROC.1978.10837).
- [136] J. Cooley, P. Lewis, P. Welch, [The finite fourier transform](#), *IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics* 17 (2) (1969) 77–85. doi:[10.1109/TAU.1969.1162036](https://doi.org/10.1109/TAU.1969.1162036).

[137]

- [138] P. Davis, M. Wittman, P. Flynn, [Empirical studies of the existence of the biometric menagerie in the frgc 2.0 color image corpus](#), in : 2006 Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop (CVPRW'06)(CVPRW), Vol. 00, 2006, p. 33.
[doi:10.1109/CVPRW.2006.71](#).
[URL doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/CVPRW.2006.71](#)