

# Repousser les limites de l'informatique ubiquitaire par l'utilisation des smartphones

Soutenance de thèse présentée par :  
**Kevin JIOKENG**

**Le 06/01/2022 devant le jury composé de :**

Nathalie MITTON  
Nicolas MONTAVONT  
Isabelle GUERIN LASSOUS  
Andrzej DUDA  
Vania CONAN  
Gentian JAKLLARI  
André-Luc BEYLOT

Directrice de Recherche, INRIA Lille  
Professeur, IMT Atlantique  
Professeure des Universités, Université Lyon 1  
Professeur des Universités, Grenoble INP  
Directeur du Laboratoire Réseau, Thales SIX  
Professeur des Universités, Toulouse INP  
Professeur des Universités, Toulouse INP

Rapporteure  
Rapporteur  
Examinatrice  
Examinateur  
Examinateur  
Directeur  
Co-directeur

# Contexte

1991



## **Mark Weiser : vision d'un monde connecté et intelligent**

- ☐ Equipements informatiques intégrés dans l'environnement
- ☐ De façon transparente
- ☐ Services partout où nous nous trouvons

# Contexte

## 1991 ● **Mark Weiser : vision d'un monde connecté et intelligent**

- ❑ Equipements informatiques intégrés dans l'environnement
- ❑ De façon transparente
- ❑ Services partout où nous nous trouvons

*“Specialized elements of hardware and software, connected by wires, radio waves and infrared, will be so ubiquitous that no one will notice their presence.”*

# Contexte

1991 ● **Mark Weiser : vision d'un monde connecté et intelligent**

Années 2010 ● **Vers cette vision : ère de l'informatique ubiquitaire**

□ Environnements connectés, réseaux performants, capteurs, etc.

# Contexte

1991 ● **Mark Weiser : vision d'un monde connecté et intelligent**

Années 2010 ● **Vers cette vision : ère de l'informatique ubiquitaire**

- ❑ Environnements connectés, réseaux performants, capteurs, etc.
- ❑ Petits équipements qui accompagnent l'utilisateur partout : téléphones intelligents, tablettes, montres et bracelets connectés, etc.

# Contexte

## Informatique ubiquitaire : deux approches

- ❑ Approche “intergiciels” : interfaces de communication entre services, auto-configuration, etc.

# Contexte

## Informatique ubiquitaire : deux approches

- ❑ Approche “intergiciels” : interfaces de communication entre services, auto-configuration, etc.
- ❑ Approche “systèmes” : construction de ces services

# Contexte

## Informatique ubiquitaire : deux approches

- ❑ Approche “intergiciels” : interfaces de communication entre services, auto-configuration, etc.
- ❑ **Approche “systèmes”** : construction de ces services
  - ❑ Usage de différents capteurs, réseaux sans fils, équipements connectés, etc.



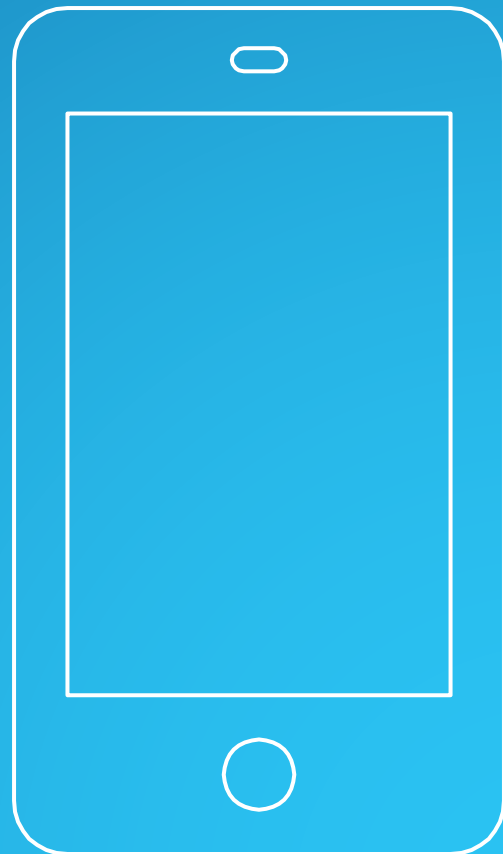
# Contexte

## ❑ Le smartphone, standard de fait

- ❑ 67% de possession au monde
- ❑ 91,5% d'utilisateurs d'internet

---

M. Spoonauer. « Digital Report 2021: les dernières données de notre état des lieux du digital dans le monde. » (jan. 2021), adresse: <https://wearesocial.com/fr/blog/2021/01/digital-report-2021-les-dernieres-donnees-de-notre-etat-des-lieux-du-digital-dans-le-monde>

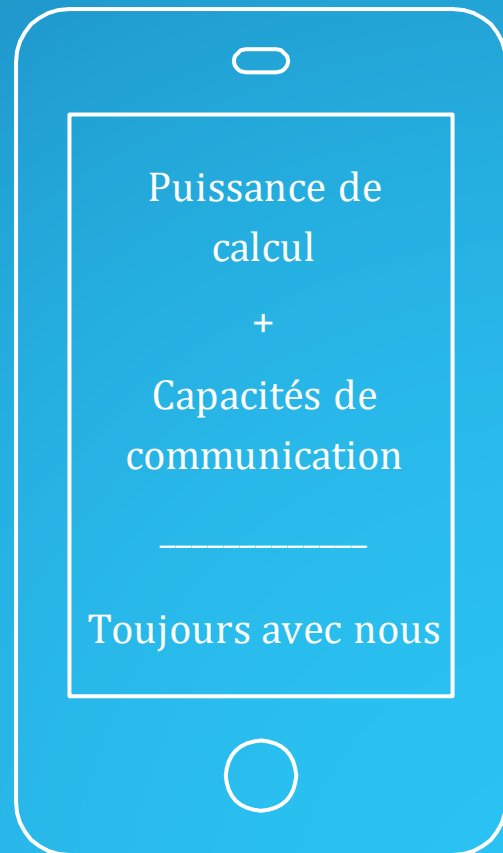


# Contexte

## ❑ Le smartphone, standard de fait

- ❑ 67% de possession au monde
- ❑ 91,5% d'utilisateurs d'internet

## ❑ Fonctions similaires à celles d'un ordinateur



M. Spoonauer. « Digital Report 2021: les dernières données de notre état des lieux du digital dans le monde. » (jan. 2021), adresse: <https://wearesocial.com/fr/blog/2021/01/digital-report-2021-les-dernieres-donnees-de-notre-etat-des-lieux-du-digital-dans-le-monde>

# Contexte

- ❑ Fonctions similaires à celles d'un ordinateur
- ❑ **Et en plus, de nouveaux services :**



# Contexte

- ❑ Fonctions similaires à celles d'un ordinateur
- ❑ **Et en plus, de nouveaux services :**
  - ❑ Santé : suivi des constantes vitales, diagnostic de maladies, etc.



# Contexte

- ❑ Fonctions similaires à celles d'un ordinateur
- ❑ **Et en plus, de nouveaux services :**
  - ❑ Santé : suivi des constantes vitales, diagnostic de maladies, etc.
  - ❑ Localisation et navigation



# Contexte

- ❑ Fonctions similaires à celles d'un ordinateur
- ❑ **Et en plus, de nouveaux services :**
  - ❑ Santé : suivi des constantes vitales, diagnostic de maladies, etc.
  - ❑ Localisation et navigation
  - ❑ Interaction homme-machine : détection des gestes, des activités, etc.



# Contexte

- ❑ Fonctions similaires à celles d'un ordinateur
- ❑ **Et en plus, de nouveaux services :**
  - ❑ Santé : suivi des constantes vitales, diagnostic de maladies, etc.
  - ❑ Localisation et navigation
  - ❑ Interaction homme-machine : détection des gestes, des activités, etc.
  - ❑ Sécurité mobile : biométrie



# Contexte

- ❑ Fonctions similaires à celles d'un ordinateur
- ❑ **Et en plus, de nouveaux services :**
  - ❑ Santé : suivi des constantes vitales, diagnostic de maladies, etc.
  - ❑ Localisation et navigation
  - ❑ Interaction homme-machine : détection des gestes, des activités, etc.
  - ❑ Sécurité mobile : biométrie

---

Contraintes importantes en termes de conditions d'utilisation, déploiement infrastructurel ou précision limitée





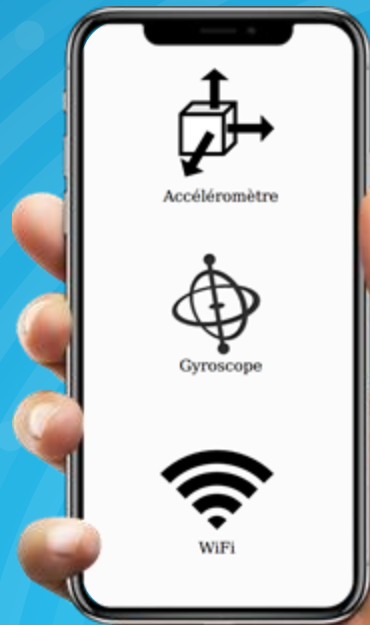
# Contexte

- Condition d'utilisation la plus simple : **celle d'un téléphone simplement tenu dans la main**



# Contexte

- ❑ Condition d'utilisation la plus simple : **celle d'un téléphone simplement tenu dans la main**
- ❑ **Objectif :** proposer à l'utilisateur de nouveaux services dans cette condition d'utilisation



# Contexte

- ❑ Condition d'utilisation la plus simple : **celle d'un téléphone simplement tenu dans la main**
- ❑ **Objectif :** proposer à l'utilisateur de nouveaux services dans cette condition d'utilisation
  - ❑ Facilité d'utilisation
  - ❑ Aucune infrastructure dédiée
  - ❑ Traitements en local (vie privée)



# Scénario étudié

## 1. Système de monitoring de la santé (fréquence cardiaque)

- ☐ Le corps entier bouge au rythme de l'activité cardiaque



# Scénario étudié

## 1. Système de monitoring de la santé (fréquence cardiaque)

- ❑ Le corps entier bouge au rythme de l'activité cardiaque
- ❑ Les capteurs de mouvement des téléphones sont suffisamment précis



# Scénario étudié

## 1. Système de monitoring de la santé (fréquence cardiaque)

- ❑ Le corps entier bouge au rythme de l'activité cardiaque
- ❑ Les capteurs de mouvement des téléphones sont suffisamment précis
- ❑ Construction de **HandRate**, notre système



# Scénario étudié

## 2. Système d'authentification biométrique fondée sur l'activité cardiaque

- ❑ Le signal cardiaque mesuré dans la main présente des spécificités propres à la personne considérée



# Scénario étudié

## 2. Système d'authentification biométrique fondée sur l'activité cardiaque

- ❑ Le signal cardiaque mesuré dans la main présente des spécificités propres à la personne considérée
- ❑ Construction de **HoldPass**, notre système d'authentification biométrique
- ❑ But : pallier les faiblesses des modalités biométriques actuelles





# Scénario étudié

## 3. Système de localisation en intérieur exploitant les récentes avancées du standard WiFi

- ❑ Protocole FTM (*Fine Time Measurement*) : calcul de distance entre deux équipements



# Scénario étudié

## 3. Système de localisation en intérieur exploitant les récentes avancées du standard WiFi

- ❑ Protocole FTM (*Fine Time Measurement*) : calcul de distance entre deux équipements
- ❑ Etude des performances avec cette norme
- ❑ Construction de **FUSIC**, notre solution pour maintenir une localisation précise



# Méthodologie

## ❑ Démarche expérimentale

- ❑ Validation des hypothèses
- ❑ Conception des solutions
- ❑ Evaluation finale

# Plan

- ❑ Introduction : contexte et contributions
- ❑ HandRate : surveillance de la fréquence cardiaque
- ❑ HoldPass : authentification biométrique fondée sur l'activité cardiaque
- ❑ FUSIC : localisation en intérieur avec le standard WiFi-FTM
- ❑ Conclusion et perspectives

# Plan

- ❑ Introduction : contexte et contributions
- ❑ **HandRate : surveillance de la fréquence cardiaque avec téléphone dans la main**
- ❑ FUSIC : localisation en intérieur avec le standard WiFi-FTM
- ❑ Conclusion et perspectives

# HandRate : positionnement

- ❑ **Santé : lutte contre les maladies cardiovasculaires**
  - ❑ MCV : première cause de décès dans le monde

# HandRate : positionnement

- ❑ **Santé : lutte contre les maladies cardiovasculaires**
  - ❑ MCV : première cause de décès dans le monde
  - ❑ Prévention : plusieurs équipements médicaux (usage en hôpital puis à la maison)
  - ❑ Équipements connectés récemment

# HandRate : positionnement

## ☐ Santé : lutte contre les maladies cardiovasculaires

- ☐ MCV : première cause de décès dans le monde
- ☐ Prévention : plusieurs équipements médicaux (usage en hôpital puis à la maison)
- ☐ Équipements connectés récemment

## ☐ Approches existantes avec un smartphone

- ☐ Ajout de capteurs spécialisés



# HandRate : positionnement

## ❑ Santé : lutte contre les maladies cardiovasculaires

- ❑ MCV : première cause de décès dans le monde
- ❑ Prévention : plusieurs équipements médicaux (usage en hôpital puis à la maison)
- ❑ Équipements connectés récemment

## ❑ Approches existantes avec un smartphone

- ❑ Ajout de capteurs spécialisés
  - *Nécessite une modification du matériel*

# HandRate : positionnement

## ❑ Santé : lutte contre les maladies cardiovasculaires

- ❑ MCV : première cause de décès dans le monde
- ❑ Prévention : plusieurs équipements médicaux (usage en hôpital puis à la maison)
- ❑ Équipements connectés récemment

## ❑ Approches existantes avec un smartphone

- ❑ Ajout de capteurs spécialisés
  - *Nécessite une modification du matériel*
- ❑ Utilisation de capteurs standards
  - ❑ Caméra pour observer le volume de sang et sa constitution (PPG)
  - ❑ Centrale inertielle avec téléphone sur poitrine ou nombril

# HandRate : positionnement

## ❑ Santé : lutte contre les maladies cardiovasculaires

- ❑ MCV : première cause de décès dans le monde
- ❑ Prévention : plusieurs équipements médicaux (usage en hôpital puis à la maison)
- ❑ Équipements connectés récemment

## ❑ Approches existantes avec un smartphone

- ❑ Ajout de capteurs spécialisés
  - *Nécessite une modification du matériel*
- ❑ Utilisation de capteurs standards
  - ❑ Caméra pour observer le volume de sang et sa constitution (PPG)
  - ❑ Centrale inertielle avec téléphone sur poitrine ou nombril

-- *Conditions d'utilisation et participation active de l'utilisateur*

# HandRate

## ❑ Notre solution

- ❑ Revenir à la vision de Mark Weiser : traitement transparent

# HandRate

## ❑ Notre solution

- ❑ Revenir à la vision de Mark Weiser : traitement transparent
- ❑ Suivi de la fréquence cardiaque sans participation active de l'utilisateur
- ❑ Capteur standard : accéléromètre

# HandRate

## ☐ Notre solution

- ☐ Revenir à la vision de Mark Weiser : traitement transparent
- ☐ Suivi de la fréquence cardiaque sans participation active de l'utilisateur
- ☐ Capteur standard : accéléromètre

## ☐ HandRate revisite la Balistocardiographie (BCG)

- ☐ Mesure du mouvement du corps lors de l'activité cardiaque
- ☐ Mouvement causé par les forces de recul (en particulier pendant la systole)

# HandRate

- Deux questions importantes

# HandRate

## ❑ Deux questions importantes

- ❑ Est-il possible de mesurer le BCG dans la main avec un téléphone ordinaire du marché ?

*Main loin du coeur et sujette à des artefacts de mouvements*



# HandRate

## ❑ Deux questions importantes

- ❑ Est-il possible de mesurer le BCG dans la main avec un téléphone ordinaire du marché ?

*Main loin du coeur et sujette à des artéfacts de mouvements*

- ❑ Si oui, quel système pour calculer la fréquence cardiaque sur cette base ?

# HandRate

## ❑ Deux questions importantes

- ❑ Est-il possible de mesurer le BCG dans la main avec un téléphone ordinaire du marché ?

*Main loin du coeur et sujette à des artéfacts de mouvements*

**---> Etude de faisabilité**

- ❑ Si oui, quel système pour calculer la fréquence cardiaque sur cette base ?

**---> Construction du système**

# HandRate

## ❑ Deux questions importantes

- ❑ Est-il possible de mesurer le BCG dans la main avec un téléphone ordinaire du marché ?

*Main loin du coeur et sujette à des artéfacts de mouvements*

**---> Etude de faisabilité**

- ❑ Si oui, quel système pour calculer la fréquence cardiaque sur cette base ?

**---> Construction du système**

**---> Evaluation des performances**

# Etude de faisabilité

# BCG dans la main : est-ce possible ?

- ❑ La réponse théorique

# BCG dans la main : est-ce possible ?

## □ La réponse théorique

- Les accéléromètres des smartphones sont capables de mesurer des mouvements très faibles
  - Valeur typique de la sensibilité :  $2 \times 10^{-3} \text{ m.s}^{-2}$

# BCG dans la main : est-ce possible ?

## □ La réponse théorique

- Les accéléromètres des smartphones sont capables de mesurer des mouvements très faibles
  - Valeur typique de la sensibilité :  $2 \times 10^{-3} \text{ m.s}^{-2}$
- Moyenne des pics dans notre jeu de données :  **$9 \times 10^{-2} \text{ m.s}^{-2}$** 
  - *Un ordre de grandeur supérieur au niveau de bruit des accéléromètres ( $2 \times 10^{-2} \text{ m.s}^{-2}$ )*

# BCG dans la main : est-ce possible ?

## □ Etude expérimentale

- Collecte de plusieurs signaux : 30s par session de mesure
- Dans la main VS au niveau du nombril (référence)



# BCG dans la main : est-ce possible ?

## □ Etude expérimentale

- Collecte de plusieurs signaux : 30s par session de mesure
- Dans la main VS au niveau du nombril (référence)
- **Analyse dans le domaine fréquentiel**  
Calcul de la qualité du signal : métrique  $Q_{\text{kurt}}$  [1]  
*Plus c'est grand, meilleure est la qualité du signal*

[1] R. Mohamed and M. Youssef, "Heartsense: Ubiquitous Accurate Multi-Modal Fusion-based Heart Rate Estimation Using Smartphones" ACM IMWUT, 2017

# BCG dans la main : est-ce possible ?

## □ Etude expérimentale

- Collecte de plusieurs signaux : 30s par session de mesure
- Dans la main VS au niveau du nombril (référence)
- **Analyse dans le domaine fréquentiel**

Calcul de la qualité du signal : métrique  $Q_{\text{kurt}}$  [1]  
*Plus c'est grand, meilleure est la qualité du signal*

[1] R. Mohamed and M. Youssef, "Heartsense: Ubiquitous Accurate Multi-Modal Fusion-based Heart Rate Estimation Using Smartphones" ACM IMWUT, 2017

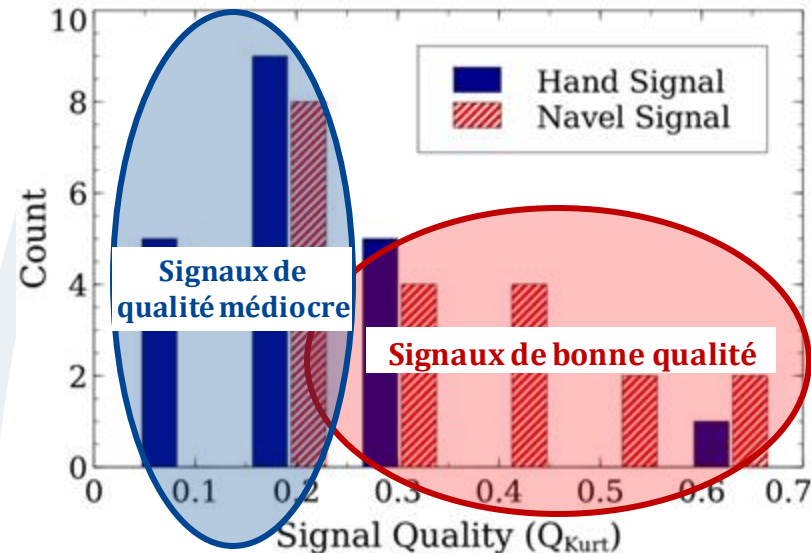
**Signaux de bonne qualité**

# BCG dans la main : est-ce possible ?

## □ Etude expérimentale

- Collecte de plusieurs signaux : 30s par session de mesure
- Dans la main VS au niveau du nombril (référence)
- **Analyse dans le domaine fréquentiel**  
Calcul de la qualité du signal : métrique  $Q_{\text{kurt}}$  [1]  
*Plus c'est grand, meilleure est la qualité du signal*

[1] R. Mohamed and M. Youssef, "Heartsense: Ubiquitous Accurate Multi-Modal Fusion-based Heart Rate Estimation Using Smartphones" ACM IMWUT, 2017



# BCG dans la main : opportunités et défis

- ❑ Le signal BCG peut être mesuré dans la main avec l'accéléromètre d'un téléphone du marché

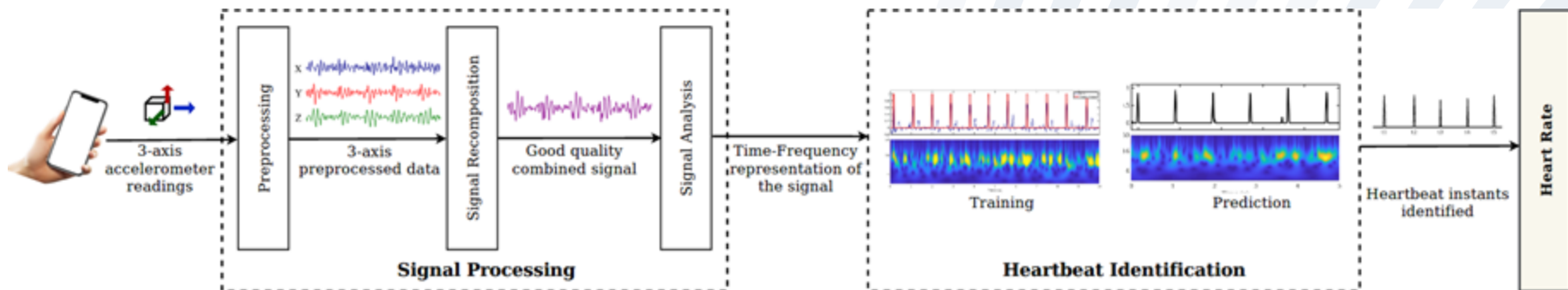
# BCG dans la main : opportunités et défis

- ❑ Le signal BCG peut être mesuré dans la main avec l'accéléromètre d'un téléphone du marché
- ❑ Mais ce signal peut être de mauvaise qualité, rendant le calcul de la fréquence cardiaque difficile

# HandRate : notre système

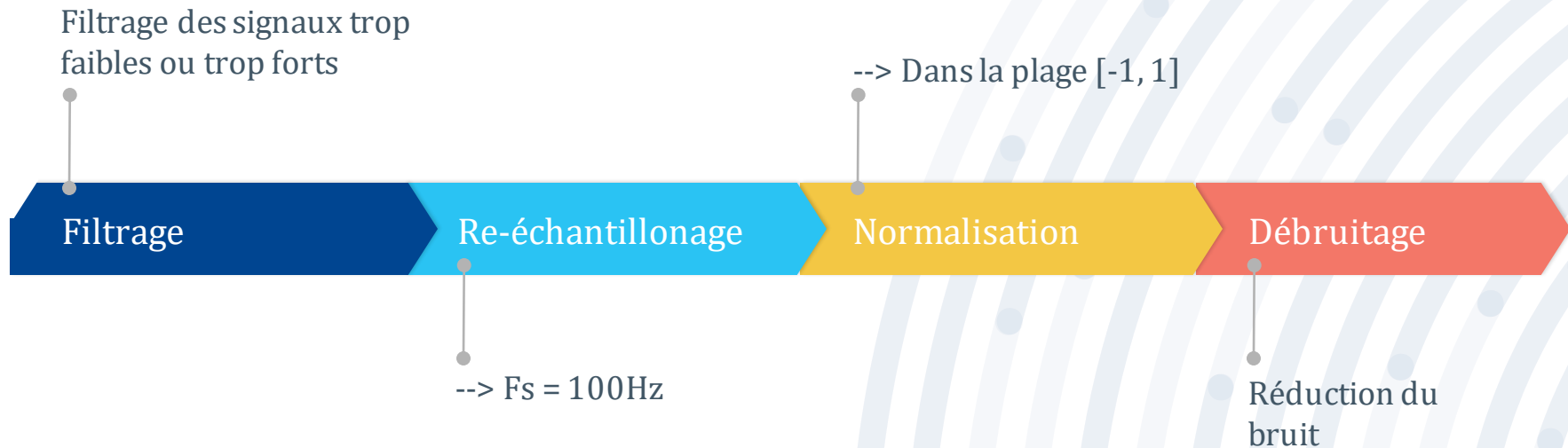
# HandRate : notre système

- ❑ Deux modules principaux
  - ❑ Traitement du signal
  - ❑ Identification des battements de coeur



# Prétraitement

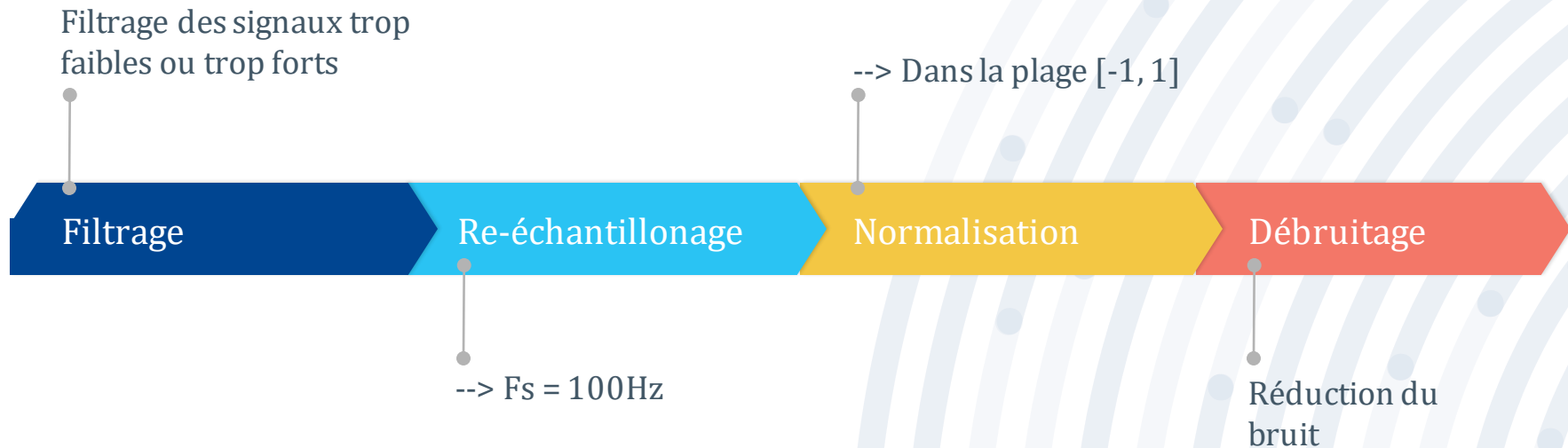
- ❑ **Objectif :** supprimer les caractéristiques spécifiques au matériel et se focaliser sur la forme du signal





# Prétraitement

- ❑ **Objectif :** supprimer les caractéristiques spécifiques au matériel et se focaliser sur la forme du signal



- ❑ Appliqué sur chacun des 3 axes indépendamment

# Recomposition du signal

- ❑ Problème : l'axe qui capture le mieux le signal dépend de la façon dont l'utilisateur tient le téléphone

# Recomposition du signal

- ❑ Problème : l'axe qui capture le mieux le signal dépend de la façon dont l'utilisateur tient le téléphone
- ❑ Deux approches possibles :

# Recomposition du signal

- ❑ Problème : l'axe qui capture le mieux le signal dépend de la façon dont l'utilisateur tient le téléphone
- ❑ Deux approches possibles :
  - Traiter (chacun des axes) + Combiner (les résultats)

# Recomposition du signal

- ❑ Problème : l'axe qui capture le mieux le signal dépend de la façon dont l'utilisateur tient le téléphone
- ❑ Deux approches possibles :
  - Traiter (chacun des axes) + Combiner (les résultats)
  - **Combiner (les axes) + Traiter (le signal 1D résultant)**

# Recomposition du signal

- ❑ Problème : l'axe qui capture le mieux le signal dépend de la façon dont l'utilisateur tient le téléphone
- ❑ Deux approches possibles :
  - Traiter (chacun des axes) + Combiner (les résultats)
  - **Combiner (les axes) + Traiter (le signal 1D résultant)**
- ❑ Choix : Analyse en Composantes Principales
  - Projection du signal dans un nouveau référentiel indépendant de la façon de tenir le téléphone

# Recomposition du signal

## □ Evaluation

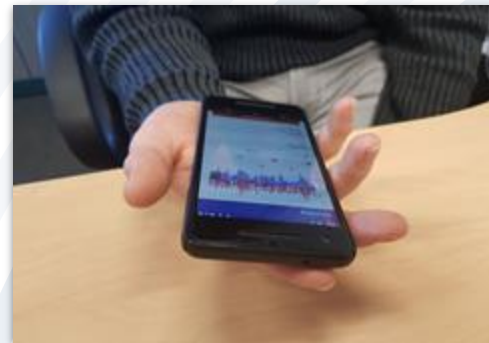
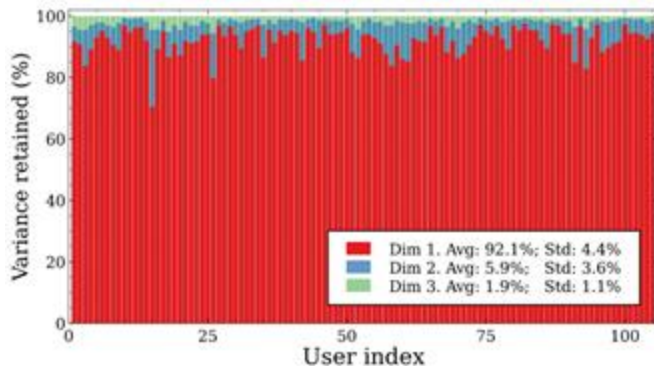
- 105 volontaires
- 30s par volontaire
- Application de l'ACP et calcul de la variance retenue sur chacune des dimensions



# Recomposition du signal

## □ Evaluation

- 105 volontaires
- 30s par volontaire
- Application de l'ACP et calcul de la variance retenue sur chacune des dimensions



- **92.1% de variance retenue sur la première composante**

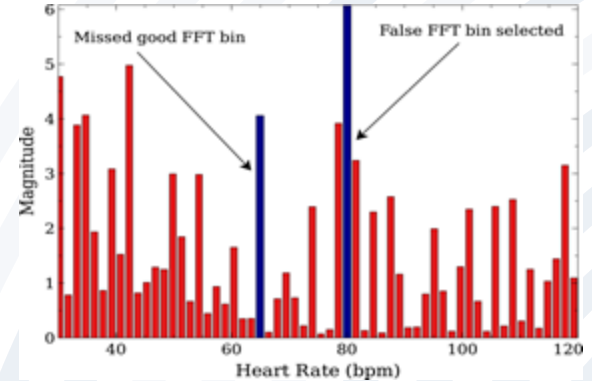


# Analyse du signal

- ❑ Options de traitement (du signal 1D) :
  - Purement dans le domaine temporel. *Mais pics pas clairs*
  - Purement dans le domaine fréquentiel

# Analyse du signal

- ❑ Options de traitement (du signal 1D) :
  - Purement dans le domaine temporel. *Mais pics pas clairs*
  - Purement dans le domaine fréquentiel



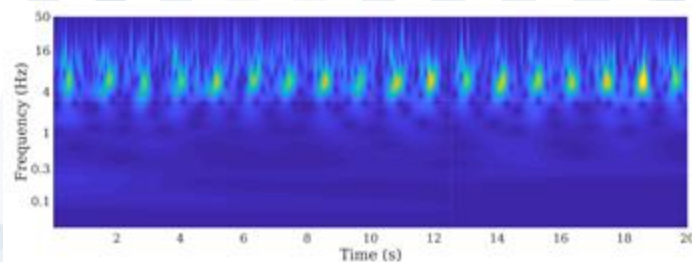
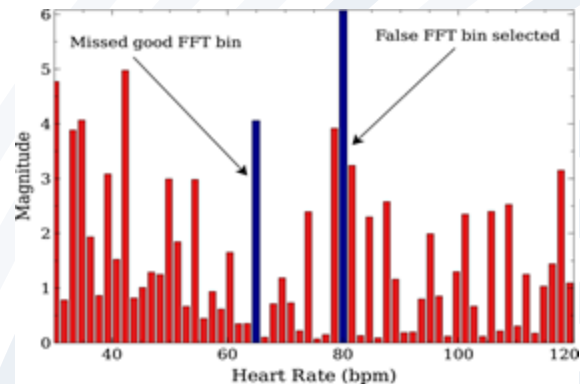
# Analyse du signal

## ❑ Options de traitement (du signal 1D) :

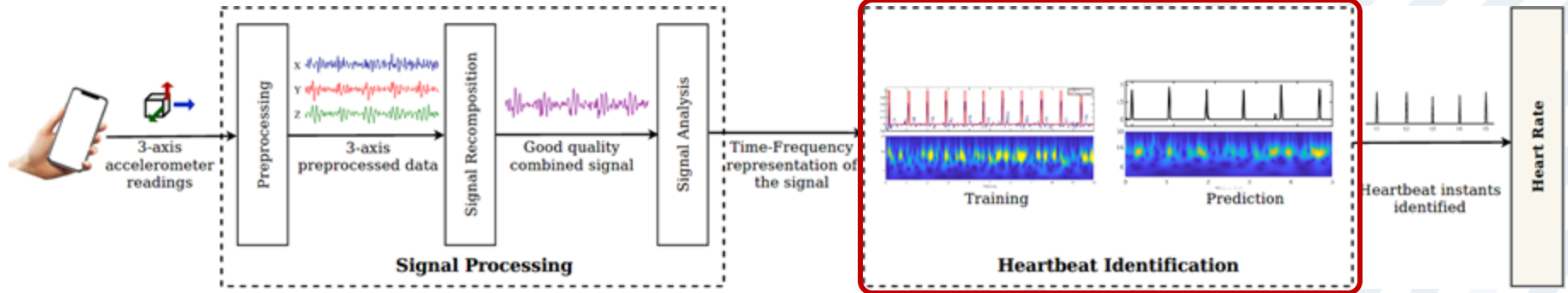
- Purement dans le domaine temporel. *Mais pics pas clairs*
- Purement dans le domaine fréquentiel

## ❑ Approche temps-fréquence :

- Spectrogramme (*Short Time Fourier Transform*)
- **Scalogramme (*Continuous Wavelet Transform*)** : événements mieux localisés dans le temps



# Identification des battements de coeur

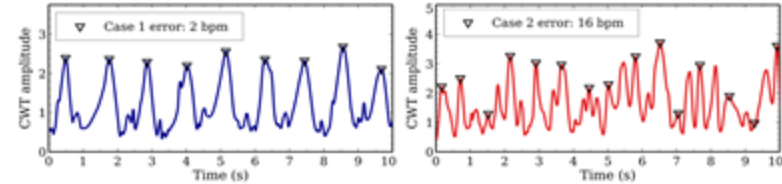


# Identification des battements

- ❑ Approche directe : “aplatir” le scalogramme en prenant la valeur maximale à chaque pas de temps

# Identification des battements

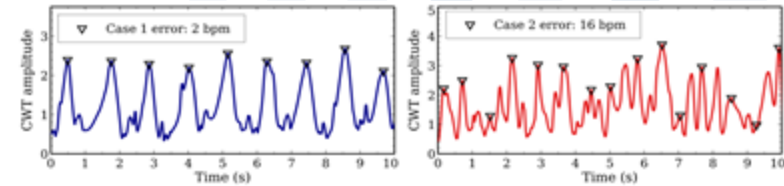
- ❑ Approche directe : “aplatir” le scalogramme en prenant la valeur maximale à chaque pas de temps
  - Résultats mitigés (qualité des données)



(a) Accurate results in high SNR cases. (b) Inaccurate results in low SNR cases.

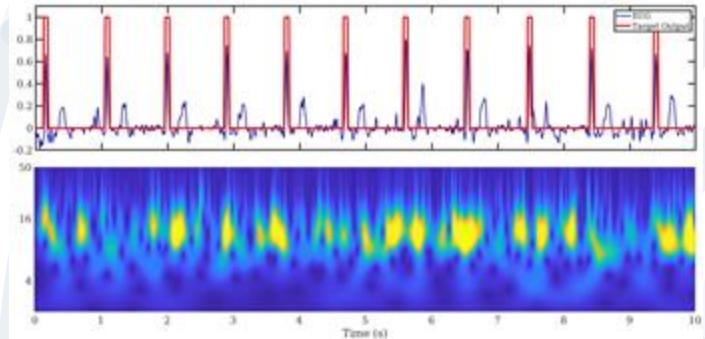
# Identification des battements

- ❑ Approche directe : “aplatir” le scalogramme en prenant la valeur maximale à chaque pas de temps
  - Résultats mitigés (qualité des données)



(a) Accurate results in high SNR cases. (b) Inaccurate results in low SNR cases.

- ❑ Réseau de neurones :
  - Modèle pour prédire l’instant des battements
  - Sur la base des données ECG mesurées au même moment



# Identification des battements

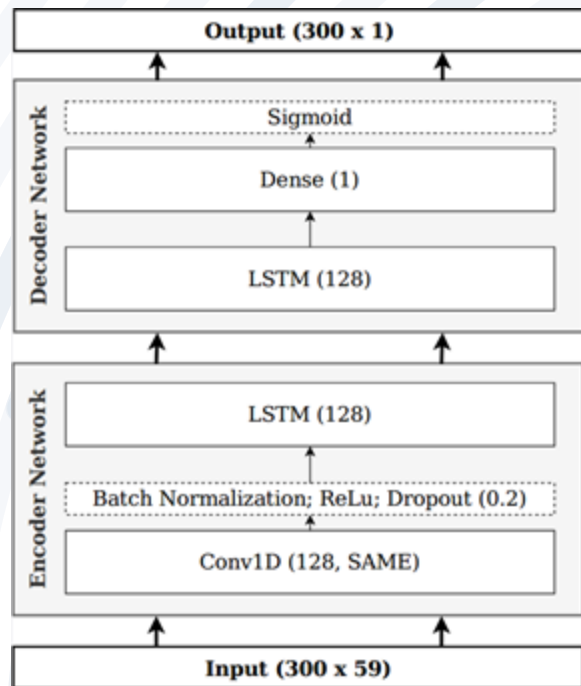
- ❑ **Objectifs dans la conception du réseau de neurones :**
  - Identifier avec précision les battements de cœur
  - Etre léger pour fonctionner sur des téléphones du marché



# Identification des battements

## ■ Réalisation :

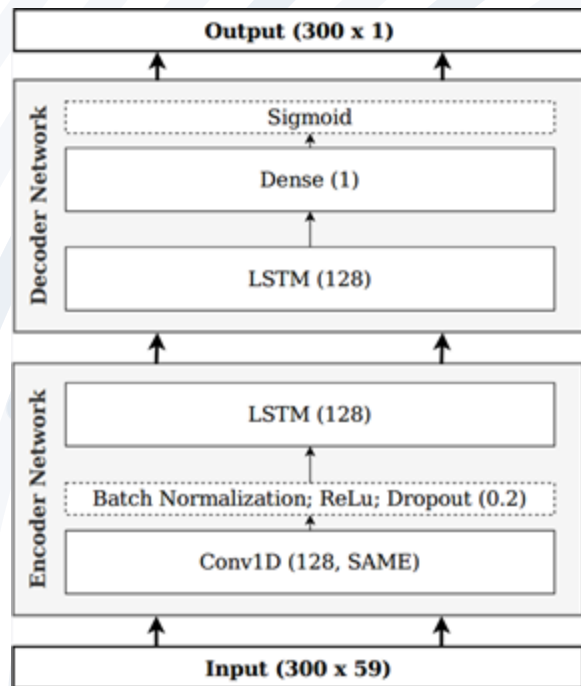
- Architecture encodeur-décodeur (seq2seq)
  - 2 couches pour l'encodeur et le décodeur



# Identification des battements

## ■ Réalisation :

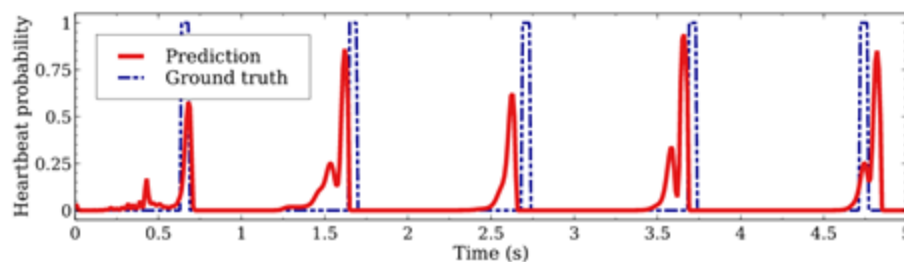
- Architecture encodeur-décodeur (seq2seq)
  - 2 couches pour l'encodeur et le décodeur
- Traitement par fenêtres de 3s (pas de 2s)
- Modèle pas trop gros :  $\sim 236k$  paramètres



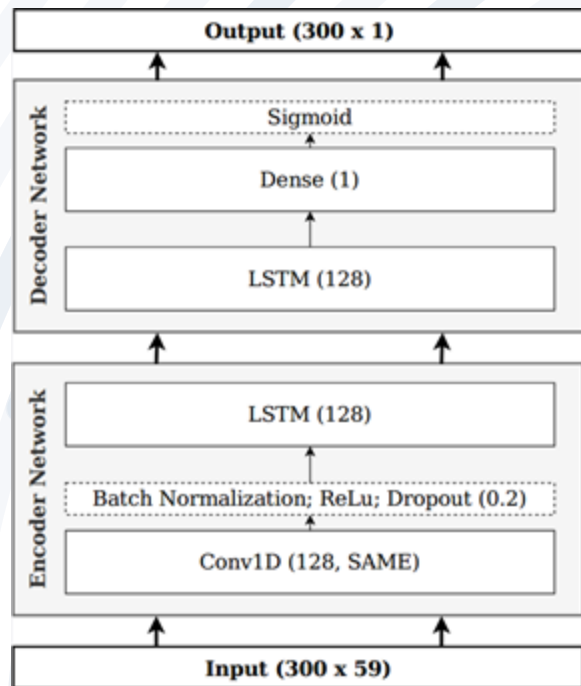
# Identification des battements

## ■ Réalisation :

- Architecture encodeur-décodeur (seq2seq)
  - 2 couches pour l'encodeur et le décodeur
- Traitement par fenêtres de 3s (pas de 2s)
- Modèle pas trop gros :  $\sim 236k$  paramètres



Exemple de prédiction du réseau de neurones



# Evaluation des performances

# **Evaluation : objectifs**

# Evaluation : objectifs

- ❑ Performance réalisée par HandRate

# Evaluation : objectifs

- ❑ Performance réalisée par HandRate
- ❑ Positionnement par rapport aux autres techniques
  - Validité de la BCG dans la main
  - Autres méthodes de traitement du signal BCG

# Evaluation : objectifs

- ❑ Performance réalisée par HandRate
- ❑ Positionnement par rapport aux autres techniques
  - Validité de la BCG dans la main
  - Autres méthodes de traitement du signal BCG
- ❑ Performance en fonction des conditions d'utilisation



# Evaluation : configuration

## □ Les données :

- 18 participants, 10+ sessions par personne
- Jeu de données assez varié : couvre la plage de 54 - 106 bat./min



# Evaluation : configuration

## ❑ Les données :

- 18 participants, 10+ sessions par personne
- Jeu de données assez varié : couvre la plage de 54 - 106 bat./min



## ❑ Deux versions de HandRate :

- Modèle général (HandRate-g)
- Modèle personnalisé (HandRate-p)

# Evaluation : configuration

## ❑ Les données :

- 18 participants, 10+ sessions par personne
- Jeu de données assez varié : couvre la plage de 54 - 106 bat./min

## ❑ Deux versions de HandRate :

- Modèle général (HandRate-g)
- Modèle personnalisé (HandRate-p)

## ❑ Comparaison avec :

- **FFT-based** : recherche de la fréquence la plus active dans le spectre de Fourier
- **Xcorr-based** : corrélation croisée entre le signal et un patron, puis sélection des pics
- **CWT-based** : sous-échantillonnage du scalogramme et sélection des pics

# Evaluation : configuration

## ❑ Les données :

- 18 participants, 10+ sessions par personne
- Jeu de données assez varié : couvre la plage de 54 - 106 bat./min

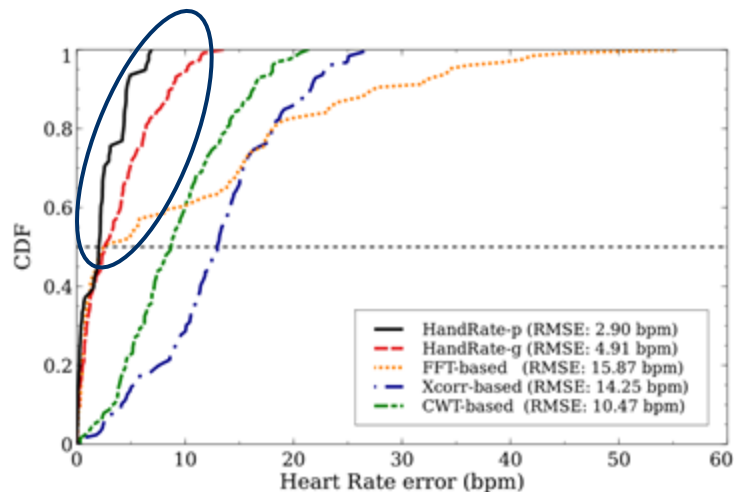
## ❑ Deux versions de HandRate :

- Modèle général (HandRate-g)
- Modèle personnalisé (HandRate-p)

## ❑ Comparaison avec :

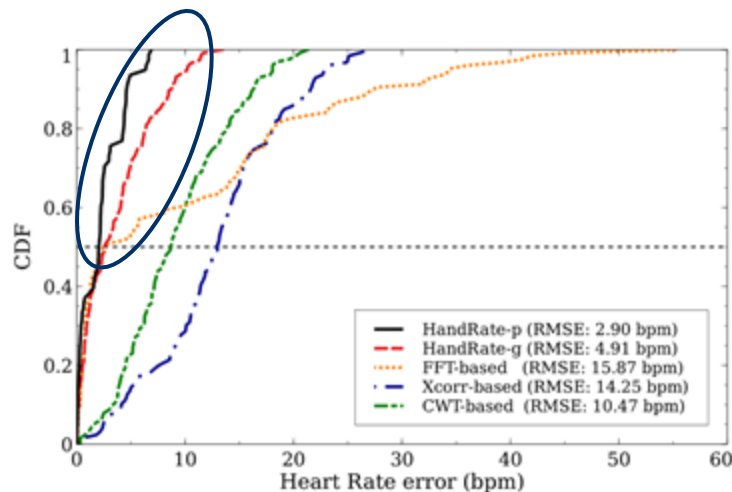
- **FFT-based** : recherche de la fréquence la plus active dans le spectre de Fourier
- **Xcorr-based** : corrélation croisée entre le signal et un patron, puis sélection des pics
- **CWT-based** : sous-échantillonnage du scalogramme et sélection des pics
- **D'autres systèmes (SCG, PPG, capteurs spéciaux)**

# Evaluation : résultats



Fonction de répartition empirique de l'erreur

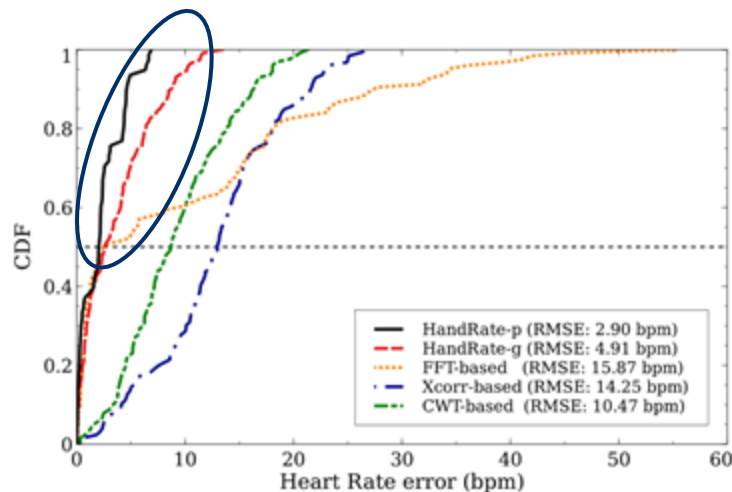
# Evaluation : résultats



Fonction de répartition empirique de l'erreur

- HandRate fournit de meilleurs résultats (médiane de 2.9 bat./mn)

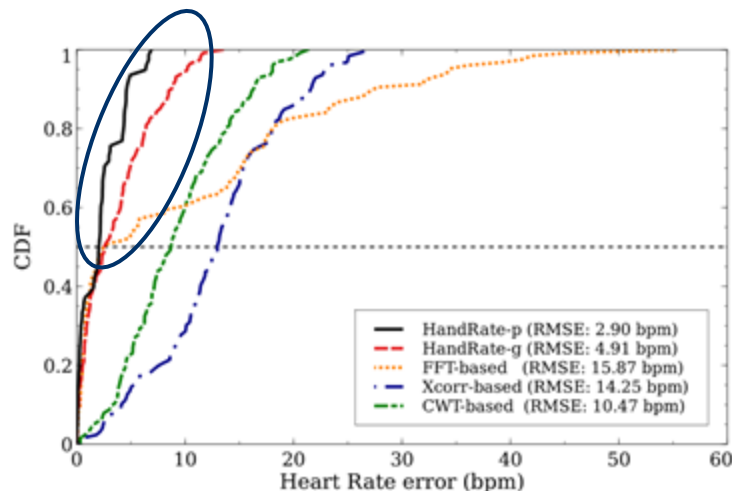
# Evaluation : résultats



Fonction de répartition empirique de l'erreur

- HandRate fournit de meilleurs résultats (médiane de 2.9 bat./mn)
- Et HandRate-p encore plus (médiane de 2 bat./min)

# Evaluation : résultats



Fonction de répartition empirique de l'erreur

- HandRate fournit de meilleurs résultats (médiane de 2.9 bat./mn)
- Et HandRate-p encore plus (médiane de 2 bat./min)

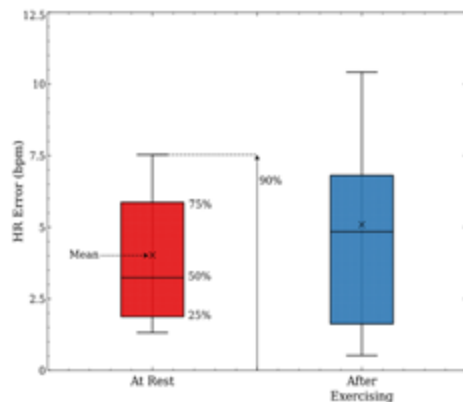
	HandRate-g	HandRate-p	HeartSense [9] (SCG)	Commercial App (camera: PPG) [43]	Commercial App (special HR sensor) [44]
25th p.	0.73	0.32	0.38	0.83	1
50th p.	2.59	2.06	1.03	3.85	2.55
75th p.	5.81	3.10	3.59	5.54	4.64
90th p.	8.74	4.60	-	-	-
RMSE	4.91	2.90	4.98	5.2	4.07

- Résultats comparables aux techniques qui requièrent des capteurs spéciaux et/ou la participation active de l'utilisateur



# Evaluation : résultats

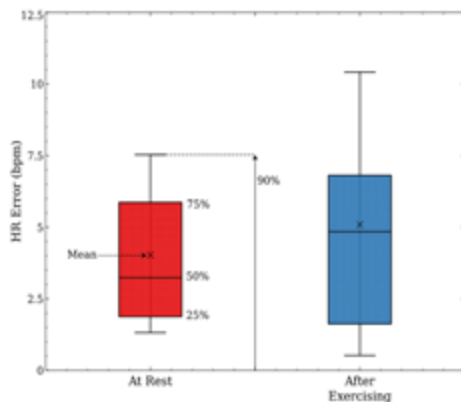
- ❑ **HandRate(-g) fonctionne bien dans différentes conditions expérimentales**



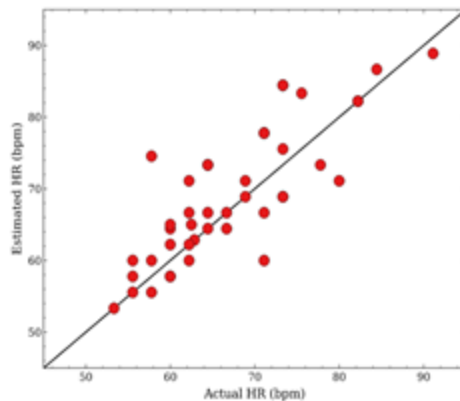
Avant et après activité  
physique

# Evaluation : résultats

- ❑ **HandRate(-g) fonctionne bien dans différentes conditions expérimentales**



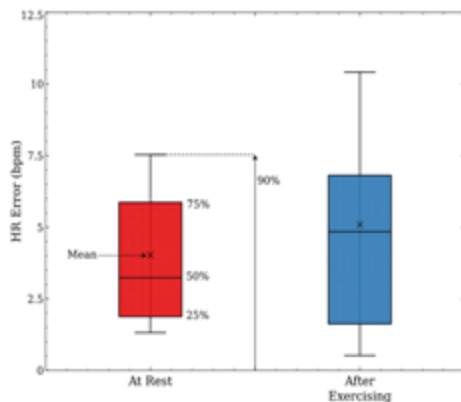
Avant et après activité  
physique



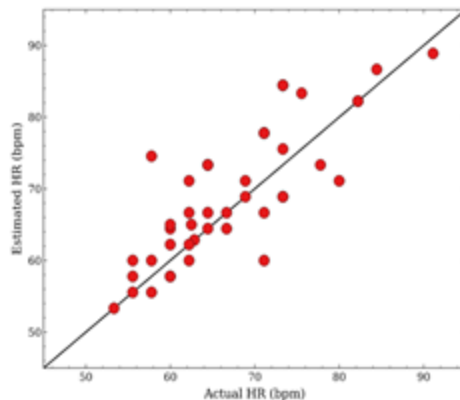
A différentes  
fréquences cardiaques

# Evaluation : résultats

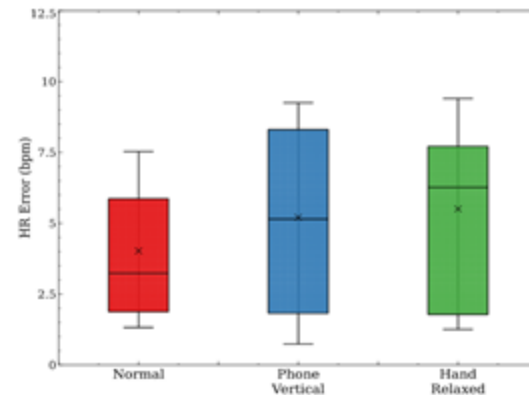
- ❑ HandRate(-g) fonctionne bien dans différentes conditions expérimentales



Avant et après activité physique



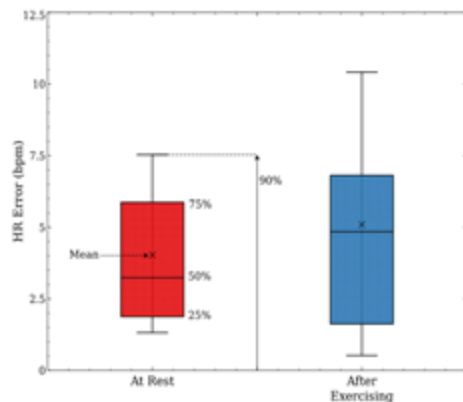
A différentes fréquences cardiaques



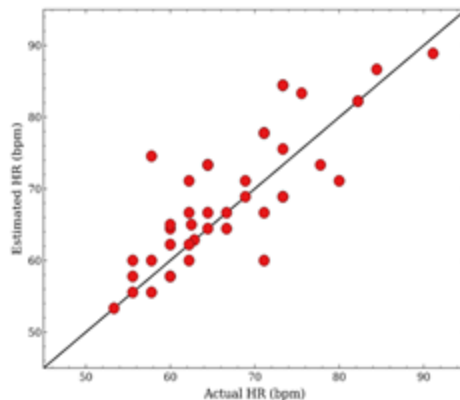
Avec différentes façons de tenir le téléphone

# Evaluation : résultats

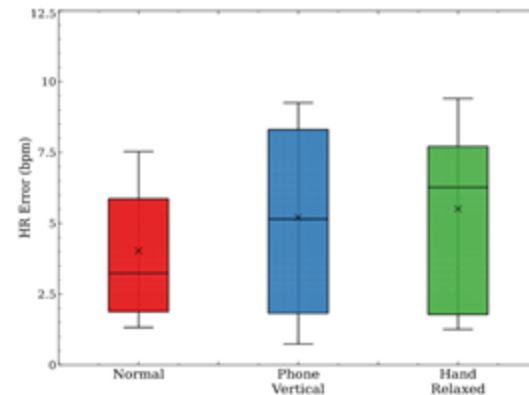
- ❑ HandRate(-g) fonctionne bien dans différentes conditions expérimentales



Avant et après activité physique



A différentes fréquences cardiaques



Avec différentes façons de tenir le téléphone

- ❑ Et en temps réel (~200ms de traitement chaque 2 secondes)

# HandRate : récapitulatif

- ❑ **Système de suivi opportuniste de la fréquence cardiaque avec téléphone dans la main**



# HandRate : récapitulatif

- ❑ **Système de suivi opportuniste de la fréquence cardiaque avec téléphone dans la main**
  - Etude de faisabilité
  - Conception d'un système pour effectuer cette tâche



# HandRate : récapitulatif

- ❑ **Système de suivi opportuniste de la fréquence cardiaque avec téléphone dans la main**
  - Etude de faisabilité
  - Conception d'un système pour effectuer cette tâche
  - Evaluation des performances
    - Erreur comparable aux autres techniques
    - Fonctionne bien dans différentes conditions expérimentales



# Plan

- ❑ Introduction : contexte et contributions
- ❑ HandRate : surveillance de la fréquence cardiaque avec téléphone dans la main
- ❑ **FUSIC : localisation en intérieur avec le standard WiFi-FTM**
- ❑ Conclusion et perspectives



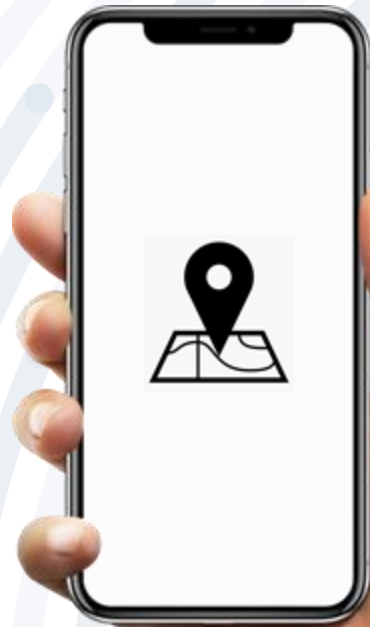
# Localisation en intérieur, un problème actuel

- ❑ Localisation dans les bâtiments : nombreux besoins et cas d'application



# Localisation en intérieur, un problème actuel

- ❑ Localisation dans les bâtiments : nombreux besoins et cas d'application
- ❑ Plusieurs travaux (deux décennies) : différents outils, technologies, approches, etc.
- ❑ Problème cependant toujours pas résolu



# Localisation en intérieur, un problème actuel

- ❑ Localisation dans les bâtiments : nombreux besoins et cas d'application
- ❑ Plusieurs travaux (deux décennies) : différents outils, technologies, approches, etc.
- ❑ Problème cependant toujours pas résolu
- ❑ Plusieurs solutions existent. Mais, coût de déploiement !

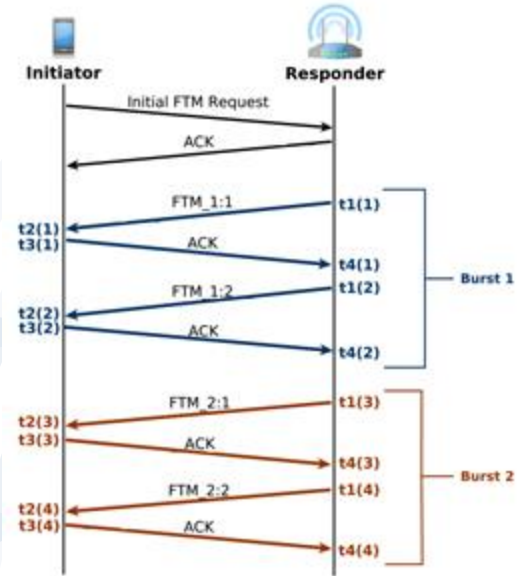


# Le protocole FTM (*Fine Time Measurement*) : la solution de l'IEEE

- ❑ IEEE 802.11-2016 (amendement 802.11mc)
- ❑ Déploiement “gratuit” de la localisation

# Le protocole FTM (*Fine Time Measurement*) : la solution de l'IEEE

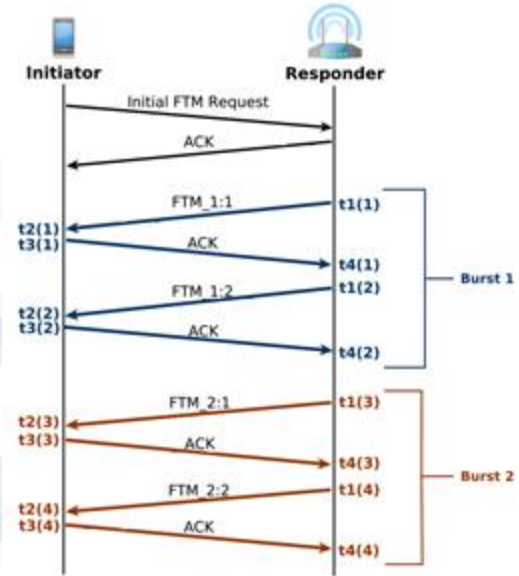
- ❑ IEEE 802.11-2016 (amendement 802.11mc)
- ❑ Déploiement “gratuit” de la localisation
- ❑ Echange bien défini de paquets (*Two Way Ranging*)



$$RTT = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_4(i) - t_1(i)) - (t_3(i) - t_2(i))$$

# Le protocole FTM (*Fine Time Measurement*) : la solution de l'IEEE

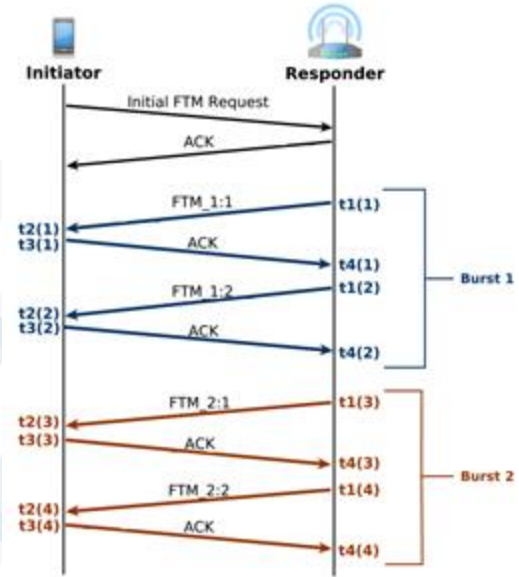
- ❑ IEEE 802.11-2016 (amendement 802.11mc)
- ❑ Déploiement “gratuit” de la localisation
- ❑ Echange bien défini de paquets (*Two Way Ranging*)
  - Implanté directement dans le *firmware*
  - Horloge à haute précision



$$RTT = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_4(i) - t_1(i)) - (t_3(i) - t_2(i))$$

# Le protocole FTM (*Fine Time Measurement*) : la solution de l'IEEE

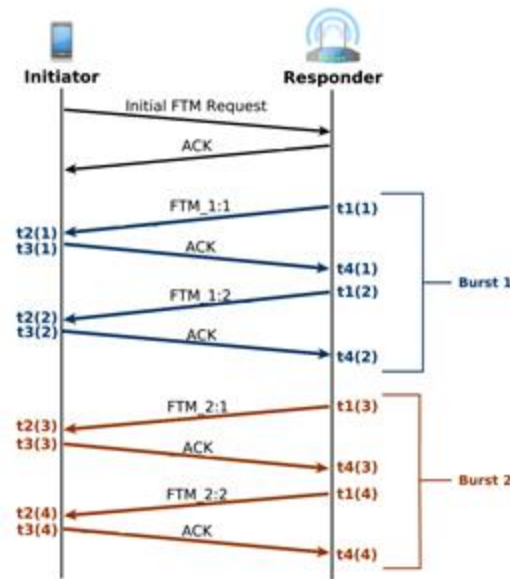
- ❑ IEEE 802.11-2016 (amendement 802.11mc)
- ❑ Déploiement “gratuit” de la localisation
- ❑ Echange bien défini de paquets (*Two Way Ranging*)
  - Implanté directement dans le *firmware*
  - Horloge à haute précision
- ❑ Promet une précision de l'ordre de  $\sim 1\text{-}2\text{m}$
- ❑ Déjà supporté par les principaux fabricants d'équipements WiFi
  - Plusieurs téléphones du marché



$$RTT = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_4(i) - t_1(i)) - (t_3(i) - t_2(i))$$

# Le protocole FTM (*Fine Time Measurement*) : la solution de l'IEEE

- ❑ IEEE 802.11-2016 (amendement 802.11mc)
- ❑ Déploiement “gratuit” de la localisation
- ❑ Echange bien défini de paquets (*Two Way Ranging*)
  - Implanté directement dans le *firmware*
  - Horloge à haute précision
- ❑ Promet une précision de l'ordre de  $\sim 1\text{-}2\text{m}$
- ❑ Déjà supporté par les principaux fabricants d'équipements WiFi
  - Plusieurs téléphones du marché
- ❑ A un grand potentiel !

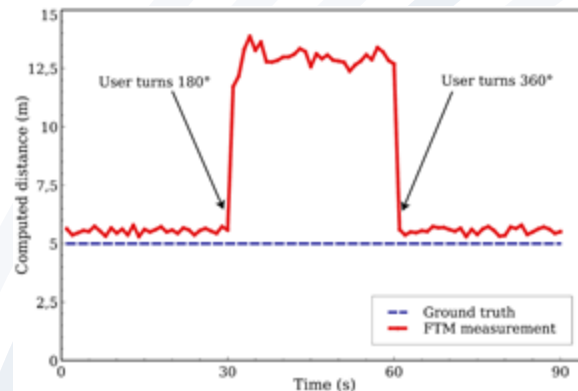


$$RTT = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_4(i) - t_1(i)) - (t_3(i) - t_2(i))$$



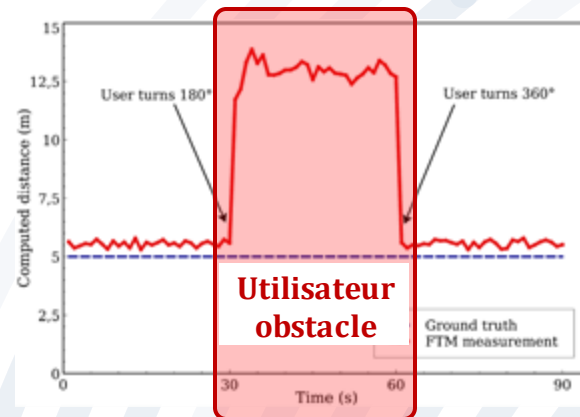
# FTM : le problème de la ligne de vue obstruée

- ❑ La **précision chute** quand l'utilisateur se tient entre l'initiateur et le répondeur : **jusqu'à 9m d'erreur !**
- ❑ Configuration expérimentale :
  - Présence d'un mur à 8m
  - Entre  $t=30s$  et  $t=60s$ , l'utilisateur se tient entre les deux équipements



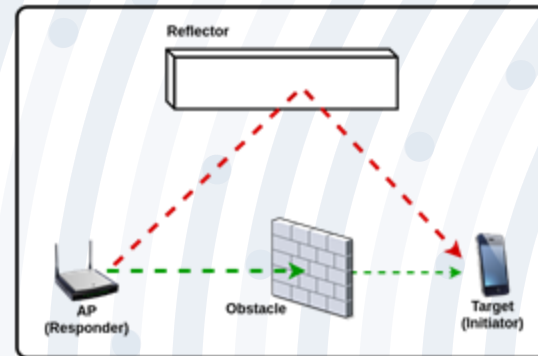
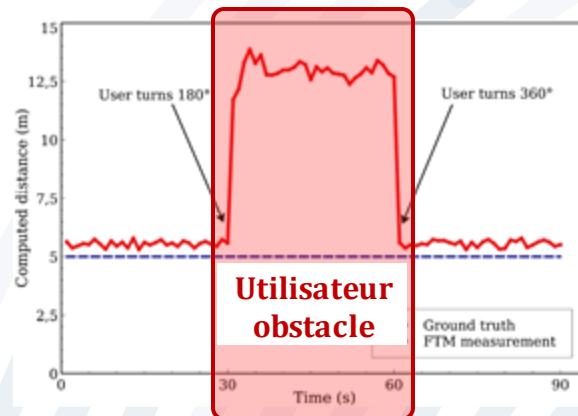
# FTM : le problème de la ligne de vue obstruée

- ❑ La **précision chute** quand l'utilisateur se tient entre l'initiateur et le répondeur : **jusqu'à 9m d'erreur !**
- ❑ Configuration expérimentale :
  - Présence d'un mur à 8m
  - Entre  $t=30s$  et  $t=60s$ , l'utilisateur se tient entre les deux équipements



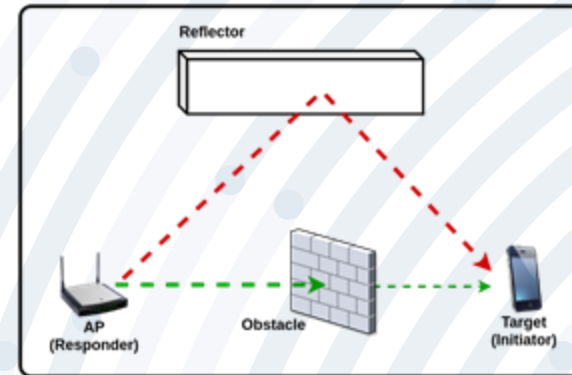
# FTM : le problème de la ligne de vue obstruée

- ❑ La **précision chute** quand l'utilisateur se tient entre l'initiateur et le répondeur : **jusqu'à 9m d'erreur !**
- ❑ Configuration expérimentale :
  - Présence d'un mur à 8m
  - Entre  $t=30s$  et  $t=60s$ , l'utilisateur se tient entre les deux équipements
- ❑ FTM semble mesurer la distance sur la base du chemin réfléchi (plus long)



# FTM : le problème de la ligne de vue obstruée

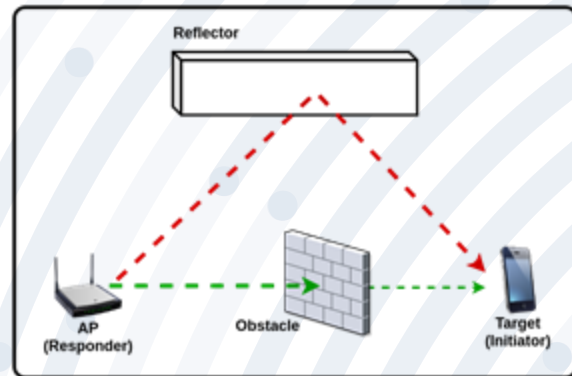
□ Deux questions en suspens



# FTM : le problème de la ligne de vue obstruée

## ❑ Deux questions en suspens

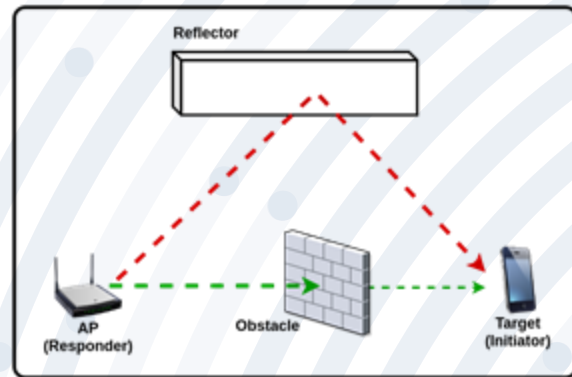
- ❑ L'origine du problème : la propagation par chemins multiples ou la permittivité relative ?



# FTM : le problème de la ligne de vue obstruée

## ❑ Deux questions en suspens

- ❑ L'origine du problème : la propagation par chemins multiples ou la permittivité relative ?
- ❑ Comment résoudre le problème ?



# FTM : le problème de la ligne de vue obstruée

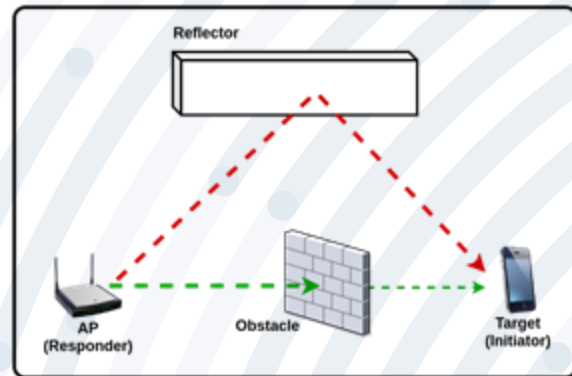
## ❑ Deux questions en suspens

- ❑ L'origine du problème : la propagation par chemins multiples ou la permittivité relative ?

---> **Identification du problème**

- ❑ Comment résoudre le problème ?

---> **Construction d'une solution**



# FTM : le problème de la ligne de vue obstruée

## ❑ Deux questions en suspens

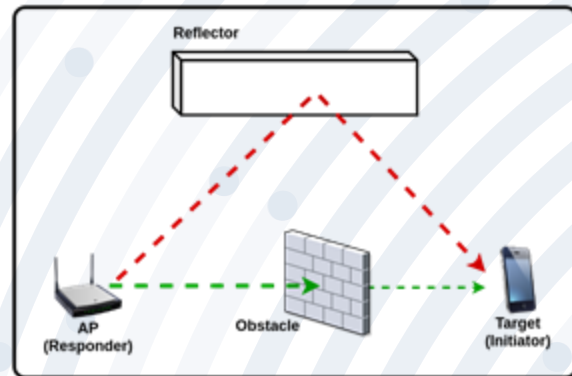
- ❑ L'origine du problème : la propagation par chemins multiples ou la permittivité relative ?

---> **Identification du problème**

- ❑ Comment résoudre le problème ?

---> **Construction d'une solution**

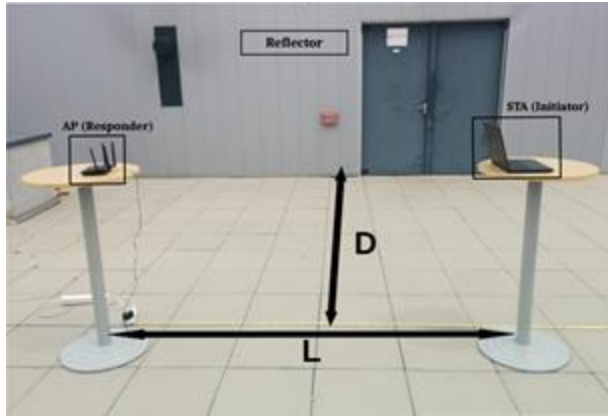
---> **Evaluation des performances**



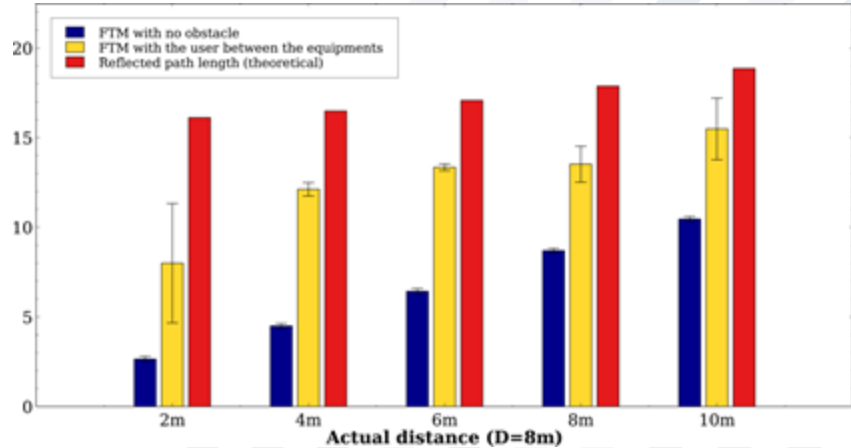
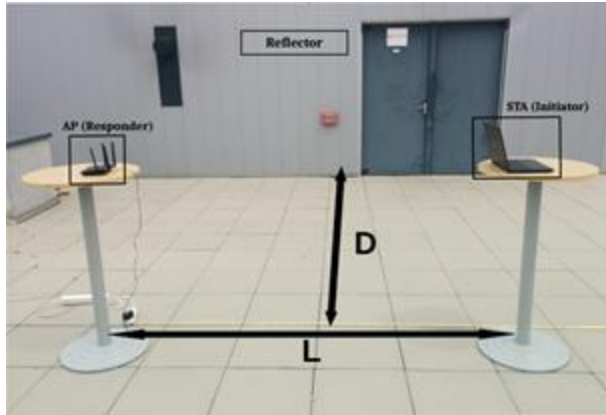


# Identification du problème

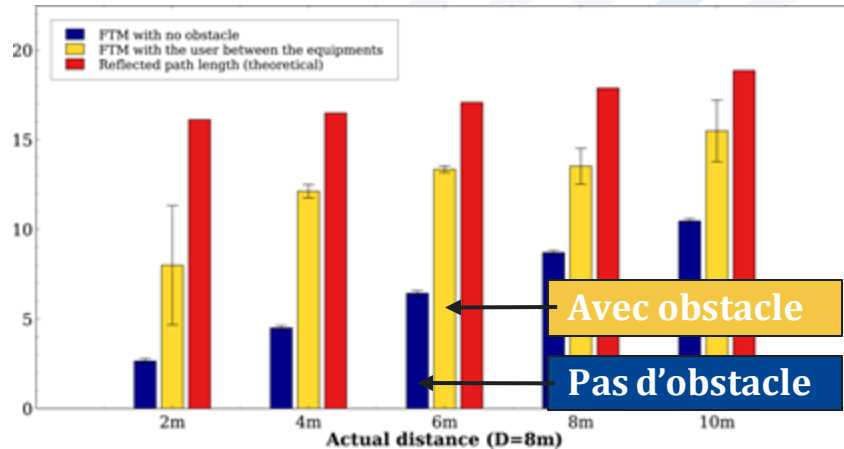
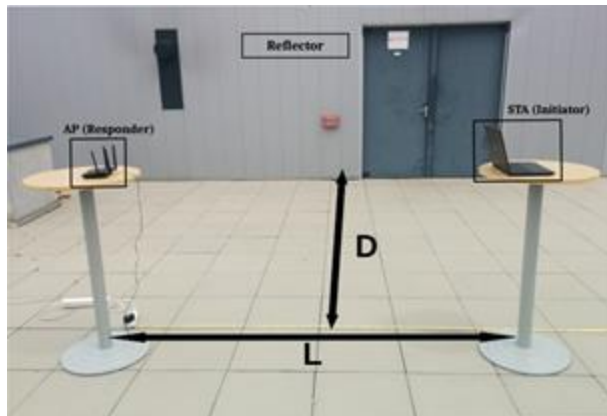
# Ligne de vue obstruée en présence de multi-chemin



# Ligne de vue obstruée en présence de multi-chemin

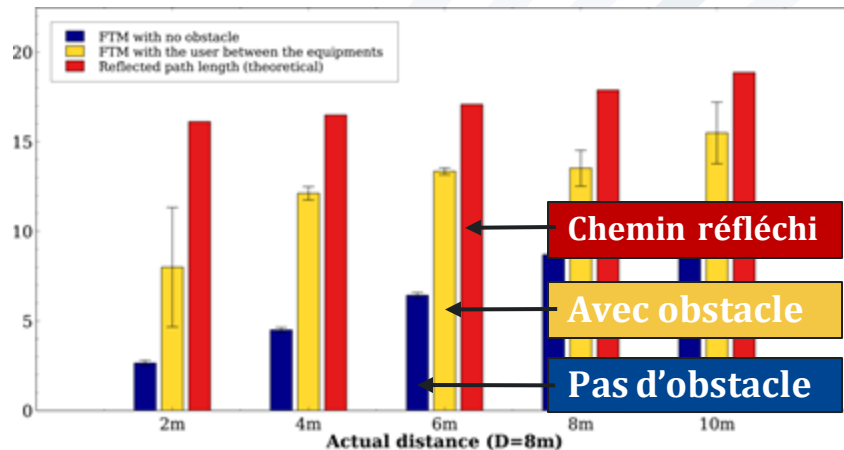
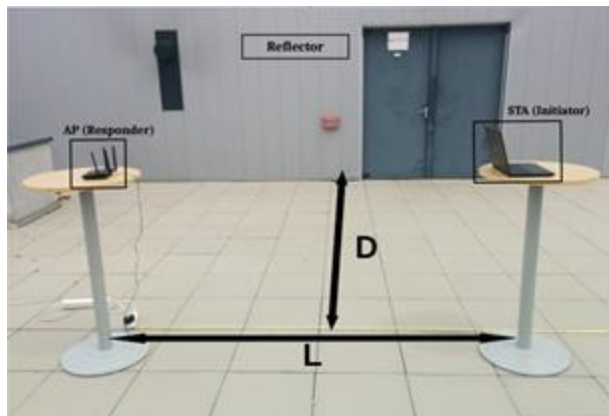


# Ligne de vue obstruée en présence de multi-chemin



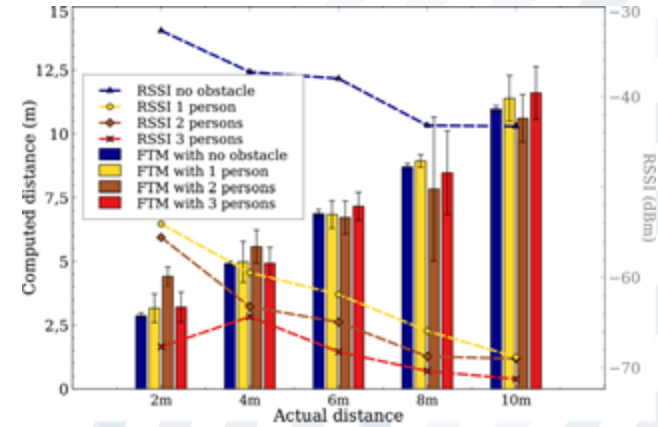
- ❑ FTM se trompe lorsque la LDV est obstruée

# Ligne de vue obstruée en présence de multi-chemin



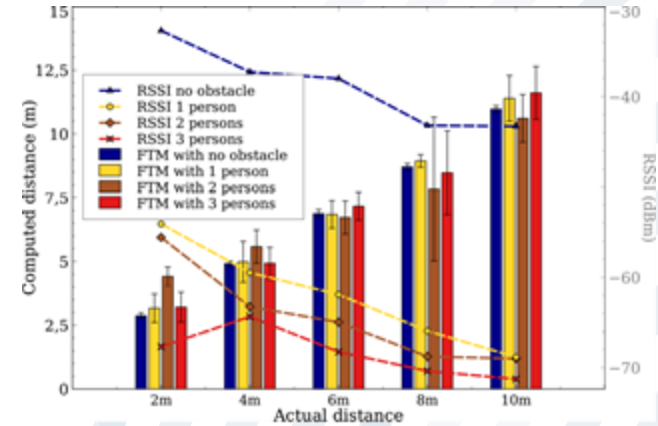
- ❑ FTM se trompe lorsque la LDV est obstruée
- ❑ Le résultat de FTM est entre la longueur du chemin direct et du chemin réfléchi

# Ligne de vue obstruée sans multi-chemin



FTM produit des résultats corrects en présence d'obstacles

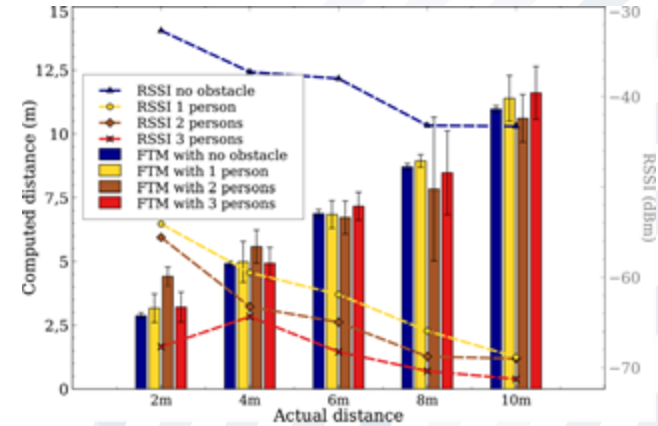
# Ligne de vue obstruée sans multi-chemin



FTM produit des résultats corrects en présence d'obstacles

- ❑ La puissance (RSSI) décroît avec le nombre de personnes, mais le résultat de FTM n'est presque pas impacté

# Ligne de vue obstruée sans multi-chemin



FTM produit des résultats corrects en présence d'obstacles

- ❑ La puissance (RSSI) décroît avec le nombre de personnes, mais le résultat de FTM n'est presque pas impacté

L'effet de la permittivité relative est négligeable

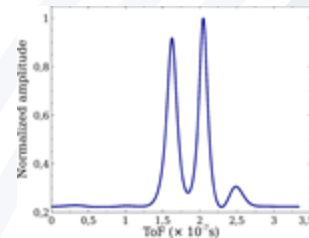


Le principal problème c'est la propagation par chemins multiples



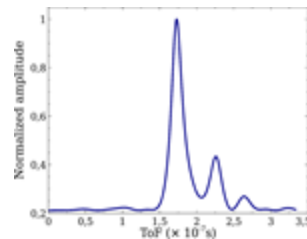
# Variation du nombre d'obstacles en présence de multi-chemin

- ❑ Même environnement semi-contrôlé que d'abord
- ❑ Nous enregistrons les CSI (*Channel State Information*) avec un ordinateur placé près du point d'accès
- ❑ Les CSI sont passés à l'algorithme MUSIC pour obtenir un profil délai-puissance

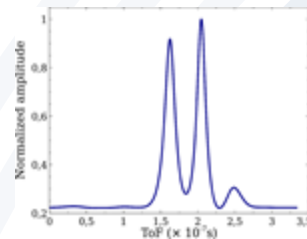


# Variation du nombre d'obstacles en présence de multi-chemin

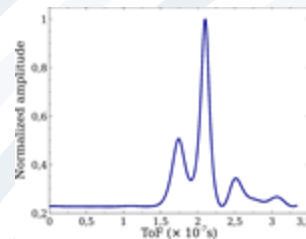
- ❑ Même environnement semi-contrôlé que d'abord
- ❑ Nous enregistrons les CSI (*Channel State Information*) avec un ordinateur placé près du point d'accès
- ❑ Les CSI sont passés à l'algorithme MUSIC pour obtenir un profil délai-puissance



Presque pas d'erreur



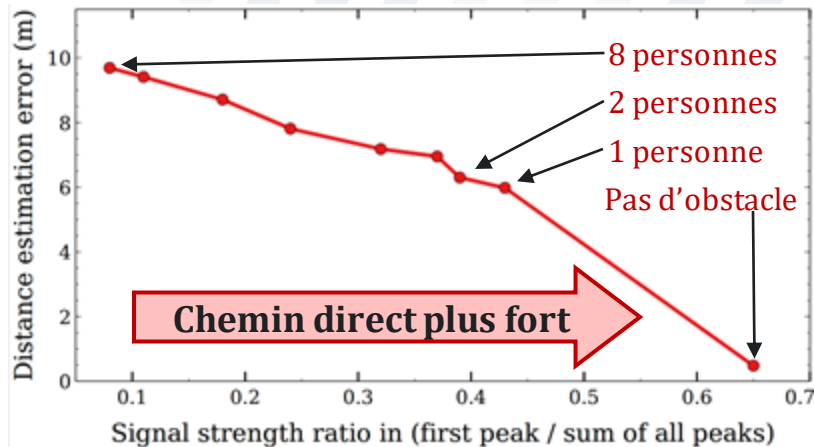
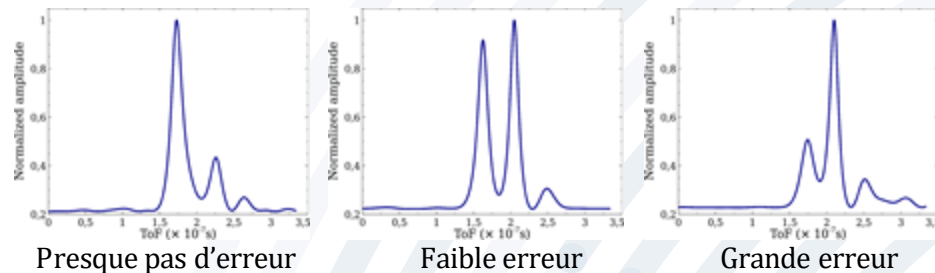
Faible erreur



Grande erreur

# Variation du nombre d'obstacles en présence de multi-chemin

- ❑ Même environnement semi-contrôlé que d'abord
- ❑ Nous enregistrons les CSI (*Channel State Information*) avec un ordinateur placé près du point d'accès
- ❑ Les CSI sont passés à l'algorithme MUSIC pour obtenir un profil délai-puissance
- ❑ L'erreur dépend des puissances relatives du chemin direct et des chemins réfléchis

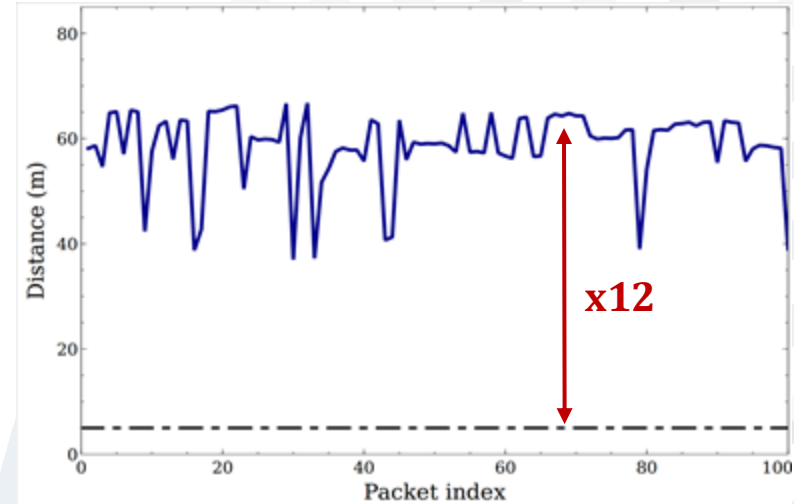


# L'imprécision de MUSIC

- ❑ Configuration expérimentale :
  - Deux équipements séparés de 5m
  - Un réflecteur (mur) à 8m
  - Nous envoyons une série de 100 paquets

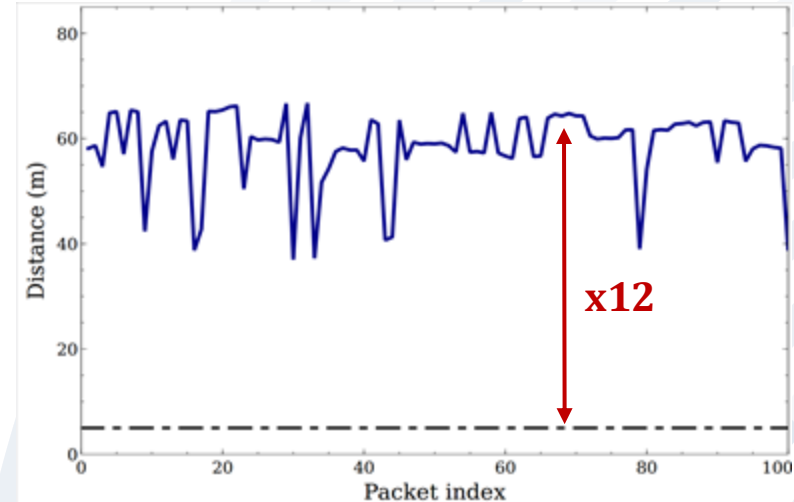
# L'imprécision de MUSIC

- ❑ Configuration expérimentale :
  - Deux équipements séparés de 5m
  - Un réflecteur (mur) à 8m
  - Nous envoyons une série de 100 paquets
- ❑ L'estimation de distance avec MUSIC est incorrecte ( $\sim 12$  fois la valeur réelle)



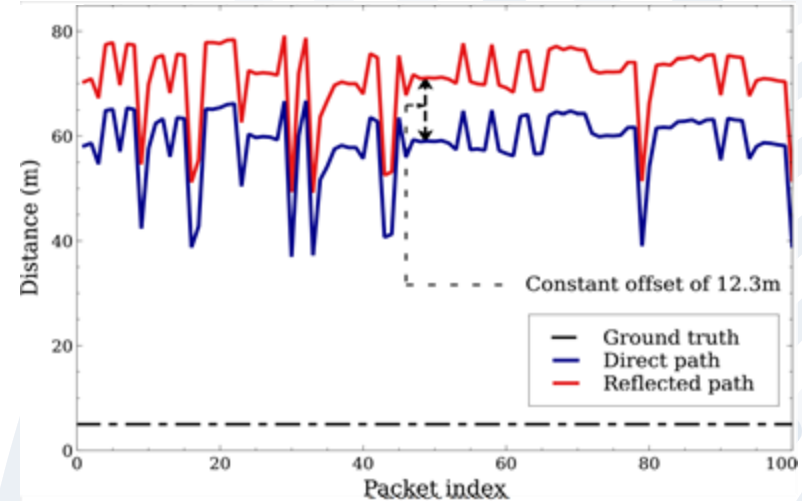
# L'imprécision de MUSIC

- ❑ Configuration expérimentale :
  - Deux équipements séparés de 5m
  - Un réflecteur (mur) à 8m
  - Nous envoyons une série de 100 paquets
- ❑ L'estimation de distance avec MUSIC est incorrecte ( $\sim 12$  fois la valeur réelle)
- ❑ L'erreur est très variable d'un paquet à l'autre  
**==> calibration statique pas possible**



# L'imprécision de MUSIC

- ❑ Configuration expérimentale :
  - Deux équipements séparés de 5m
  - Un réflecteur (mur) à 8m
  - Nous envoyons une série de 100 paquets
- ❑ L'estimation de distance avec MUSIC est incorrecte ( $\sim 12$  fois la valeur réelle)
- ❑ L'erreur est très variable d'un paquet à l'autre  
==> calibration statique pas possible



Mais la différence entre les deux chemins est constante  
et correcte pour tous les paquets !

# FUSIC, notre solution



# FUSIC, notre solution

- ❑ Un algorithme qui fusionne FTM et MUSIC, tous deux erronés, pour produire un calcul de distance correct même en présence de multi-chemin
  - Ne nécessite aucun changement au standard
  - Peut être facilement implanté
- ❑ Prend en entrée le résultat de FTM et une matrice de CSI et produit une estimation corrigée de la distance

# FUSIC, notre solution

- ❑ Un algorithme qui fusionne FTM et MUSIC, tous deux erronés, pour produire un calcul de distance correct même en présence de multi-chemin
  - Ne nécessite aucun changement au standard
  - Peut être facilement implanté
- ❑ Prend en entrée le résultat de FTM et une matrice de CSI et produit une estimation corrigée de la distance
- ❑ **Deux défis primordiaux :**

# FUSIC, notre solution

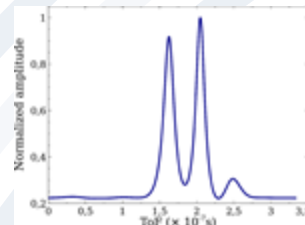
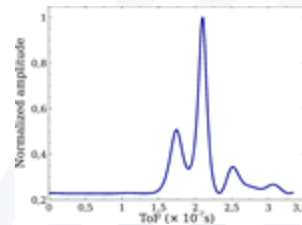
- ❑ Un algorithme qui fusionne FTM et MUSIC, tous deux erronés, pour produire un calcul de distance correct même en présence de multi-chemin
  - Ne nécessite aucun changement au standard
  - Peut être facilement implanté
- ❑ Prend en entrée le résultat de FTM et une matrice de CSI et produit une estimation corrigée de la distance
- ❑ **Deux défis primordiaux :**
  - Détecter quand FTM se trompe

# FUSIC, notre solution

- ❑ Un algorithme qui fusionne FTM et MUSIC, tous deux erronés, pour produire un calcul de distance correct même en présence de multi-chemin
  - Ne nécessite aucun changement au standard
  - Peut être facilement implanté
- ❑ Prend en entrée le résultat de FTM et une matrice de CSI et produit une estimation corrigée de la distance
- ❑ **Deux défis primordiaux :**
  - Détecter quand FTM se trompe
  - Corriger son résultat et renvoyer la longueur du chemin direct

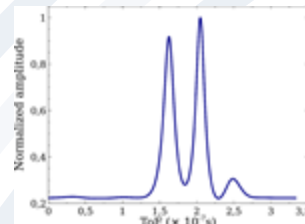
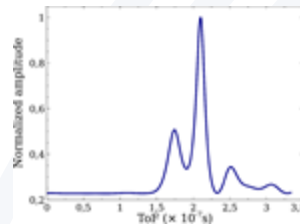
# Détecter quand FTM se trompe

- ❑ Les données montrent que FTM se trompe lorsque le chemin direct n'est pas dominant
- ❑ Existence de cas non triviaux



# Détecter quand FTM se trompe

- ❑ Les données montrent que FTM se trompe lorsque le chemin direct n'est pas dominant
- ❑ Existence de cas non triviaux
- ❑ Nous introduisons une nouvelle métrique qui quantifie la contribution du chemin direct



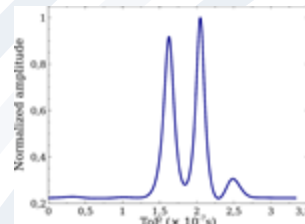
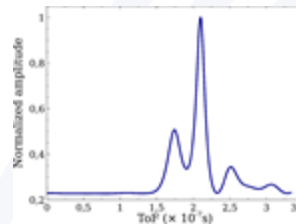
$$R = \frac{P(\tau_1)}{\sum_{k=1}^K P(\tau_k)}$$

# Détecter quand FTM se trompe

- ❑ Les données montrent que FTM se trompe lorsque le chemin direct n'est pas dominant
- ❑ Existence de cas non triviaux
- ❑ Nous introduisons une nouvelle métrique qui quantifie la contribution du chemin direct

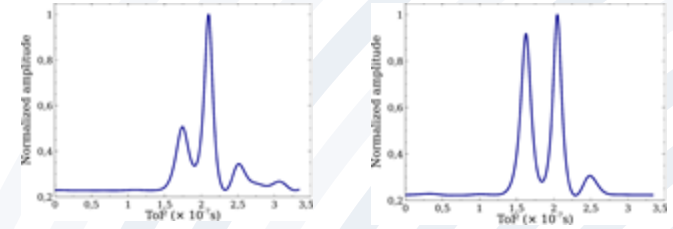
$$R = \frac{P(\tau_1)}{\sum_{k=1}^K P(\tau_k)}$$

- ❑ Nous déclenchons l'algorithme de correction uniquement lorsque R est en dessous d'un seuil



# Détecter quand FTM se trompe

- ❑ Les données montrent que FTM se trompe lorsque le chemin direct n'est pas dominant
- ❑ Existence de cas non triviaux
- ❑ Nous introduisons une nouvelle métrique qui quantifie la contribution du chemin direct
$$R = \frac{P(\tau_1)}{\sum_{k=1}^K P(\tau_k)}$$
- ❑ Nous déclenchons l'algorithme de correction uniquement lorsque R est en dessous d'un seuil
- ❑ Sélection de la valeur du seuil : compromis intéressant

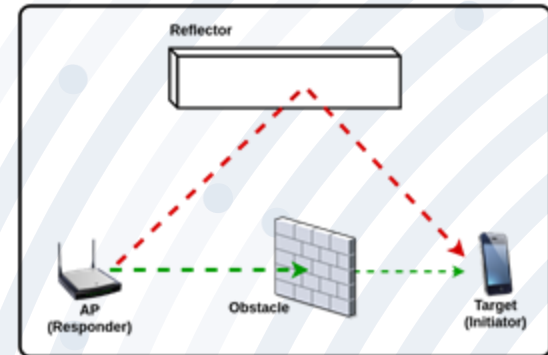




# Correction du résultat de FTM

## Considérons un cas d'exemple

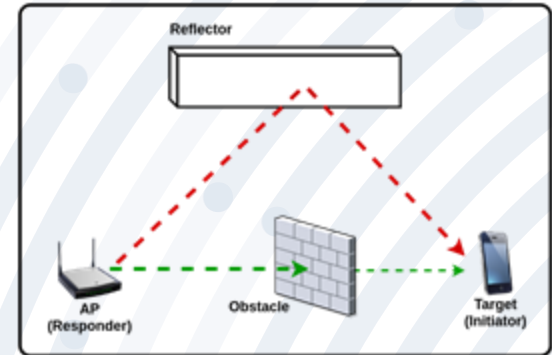
- Supposons que nous avons uniquement 2 chemins de propagation, le chemin direct étant fortement obstrué
  - FTM produira la longueur du chemin réfléchi



# Correction du résultat de FTM

## Considérons un cas d'exemple

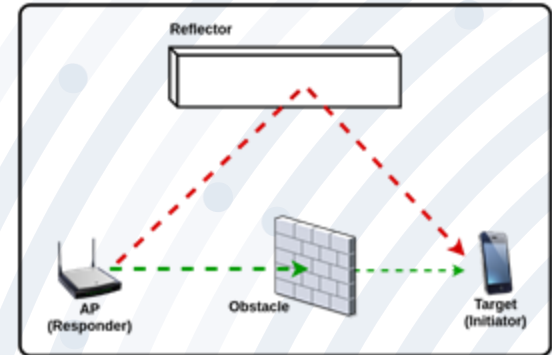
- ❑ Supposons que nous avons uniquement 2 chemins de propagation, le chemin direct étant fortement obstrué
  - FTM produira la longueur du chemin réfléchi
- ❑ Notre but est de calculer l'erreur  $d_{\text{réfléchi}} - d_{\text{direct}}$



# Correction du résultat de FTM

## Considérons un cas d'exemple

- ❑ Supposons que nous avons uniquement 2 chemins de propagation, le chemin direct étant fortement obstrué
  - FTM produira la longueur du chemin réfléchi
- ❑ Notre but est de calculer l'erreur  $d_{\text{réfléchi}} - d_{\text{direct}}$
- ❑ MUSIC est imprécis, mais nous donne la valeur correcte de  $\Delta_{\text{ToF}}$
- ❑ FUSIC calcule donc  $d_{\text{fusic}} = d_{\text{ftm}} - \Delta_{\text{ToF}} \times c$



# Correction du résultat de FTM

## Algorithme dans le cas général

- ❑ En pratique, il peut y avoir plusieurs chemins de propagation
- ❑ Le résultat de FTM ne correspond pas forcément à la longueur d'un chemin particulier

# Correction du résultat de FTM

## Algorithme dans le cas général

- ❑ En pratique, il peut y avoir plusieurs chemins de propagation
- ❑ Le résultat de FTM ne correspond pas forcément à la longueur d'un chemin particulier
- ❑ FUSIC calcule l'erreur en fonction de tous les chemins : le délai excessif moyen

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_{k=1}^K P(\tau_k)(\tau_k - \tau_1)}{\sum_{k=1}^K P(\tau_k)}$$

- ❑ FUSIC renvoie donc  $d_{fusic} = d_{ftm} - \bar{\tau} \times c$

# Evaluation des performances

# Evaluation : objectifs

- ❑ Performance réalisée par FUSIC
  - Calcul de distance
  - Localisation

# Evaluation : objectifs

- ❑ Performance réalisée par FUSIC
  - Calcul de distance
  - Localisation
- ❑ Comparaison avec FTM



# Configuration expérimentale

- 4 environnements
  - 1 semi-contrôlé
  - 3 pièces de bâtiments



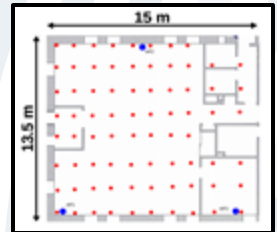
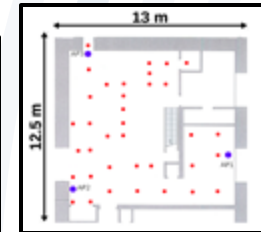
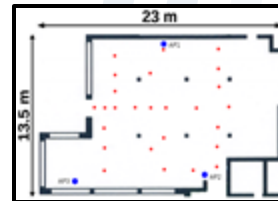
Restaurant universitaire



Entrepôt



Salon



# Configuration expérimentale

- ❑ 4 environnements
  - 1 semi-contrôlé
  - 3 pièces de bâtiments
- ❑ Un total de 122 positions testées pour la cible dans les bâtiments



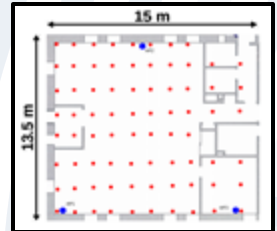
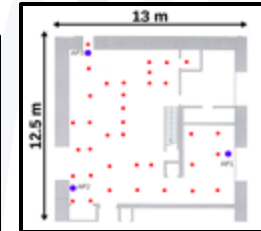
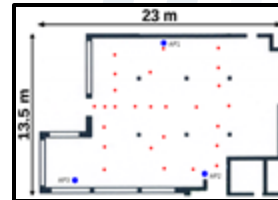
Restaurant universitaire



Entrepôt

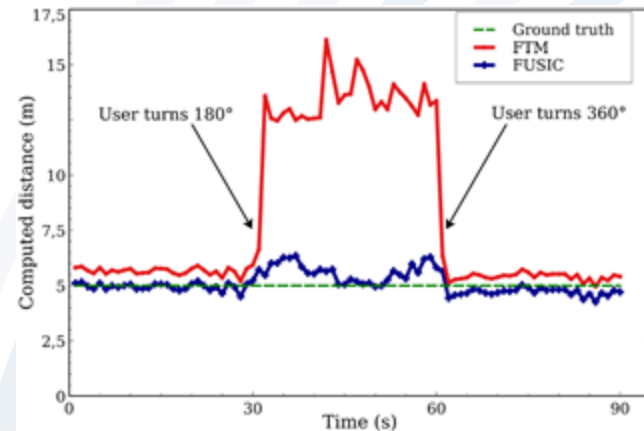


Salon



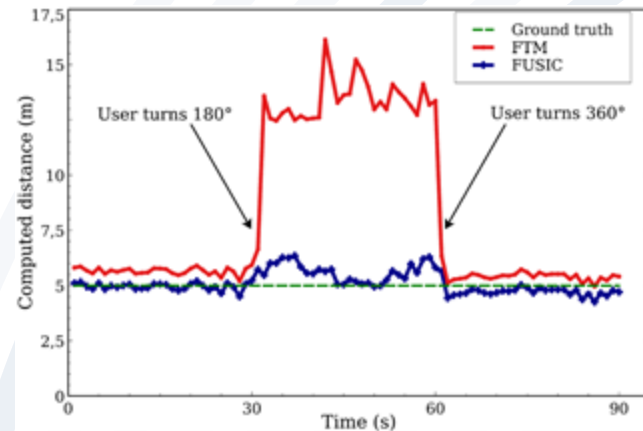
# Retour à la case départ

- Même expérience où la position de l'utilisateur varie dans le temps :
  - Présence d'un mur à 8m
  - Entre  $t=30s$  et  $t=60s$ , l'utilisateur se tient entre les deux équipements

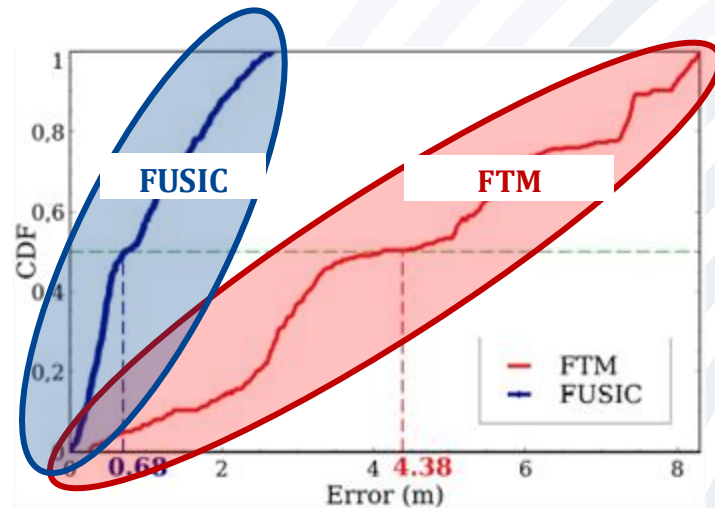
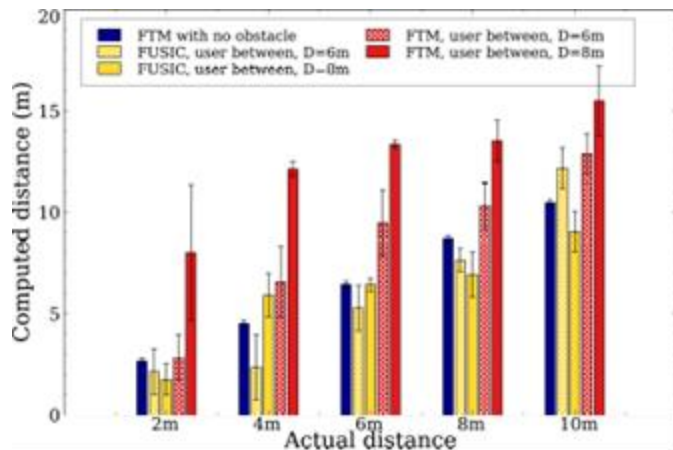


# Retour à la case départ

- ❑ Même expérience où la position de l'utilisateur varie dans le temps :
  - Présence d'un mur à 8m
  - Entre  $t=30s$  et  $t=60s$ , l'utilisateur se tient entre les deux équipements
- ❑ FUSIC réussit à estimer la distance correctement pendant toute l'expérience
- ❑ Ce n'est pas le cas de FTM

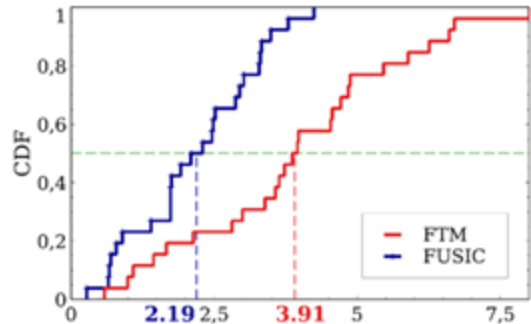


# Environnement semi-contrôlé : différentes configurations expérimentales

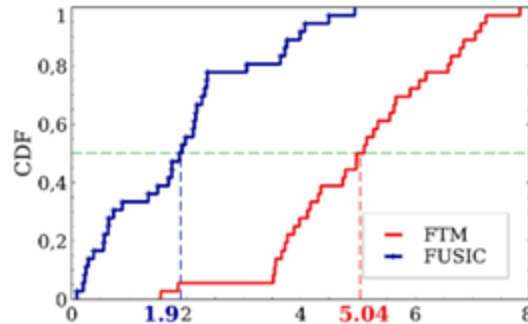


- ❑ FUSIC surpasse FTM
  - Erreur médiane : 0.68m vs 4.38m
  - 90ème percentile: 2.12m vs 7.8m

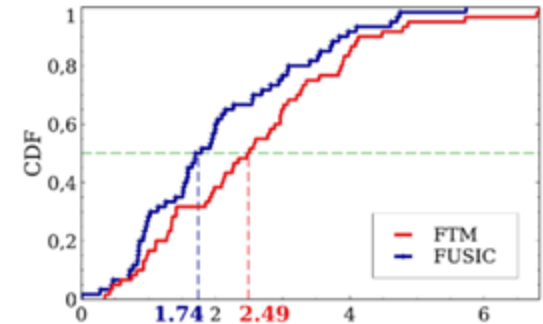
# Localisation dans les bâtiments



Restaurant universitaire



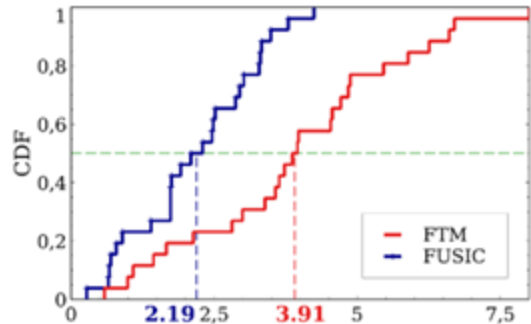
Entrepôt



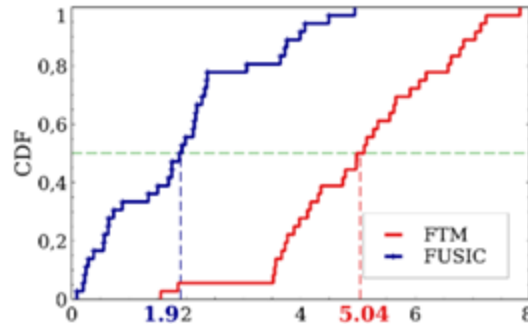
Salon

- Précision dans l'estimation de la distance ==> Précision dans la localisation
- Erreur médiane : 1.94m vs 3.64m
  - 90ème percentile : 3.77m vs 5.79m

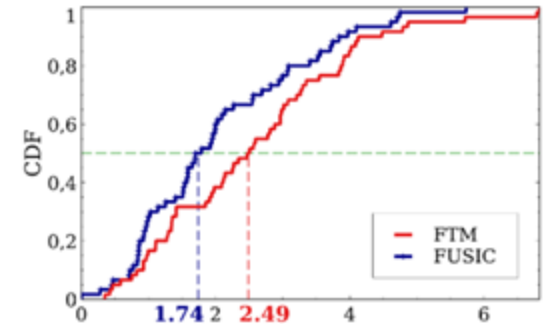
# Localisation dans les bâtiments



Restaurant universitaire



Entrepôt



Salon

- ❑ Précision dans l'estimation de la distance ==> Précision dans la localisation
  - Erreur médiane : 1.94m vs 3.64m
  - 90ème percentile : 3.77m vs 5.79m
- ❑ Grande différence dans l'entrepôt (environnement multi-chemin le plus complexe)

# Plan

- ❑ Introduction : contexte et contributions
- ❑ HandRate : surveillance de la fréquence cardiaque avec téléphone dans la main
- ❑ FUSIC : localisation en intérieur avec le standard WiFi-FTM
- ❑ **Conclusion et perspectives**



# Conclusions

## ❑ Dans cette thèse

- ❑ Utilisation du smartphone pour offrir de nouveaux services
- ❑ Condition d'utilisation la plus simple : téléphone simplement tenu dans la main



# Conclusions

## ❑ Dans cette thèse

- ❑ Utilisation du smartphone pour offrir de nouveaux services
- ❑ Condition d'utilisation la plus simple : téléphone simplement tenu dans la main
- ❑ Défis interdisciplinaires : Réseaux, Traitement de signal, Apprentissage automatique



# Conclusions



**HandRate** : Surveillance de la fréquence cardiaque

**HoldPass** : Authentification biométrique fondée sur l'activité cardiaque

**FUSIC** : Localisation en intérieur avec FTM (WiFi)

# Conclusions

● **HandRate** : Surveillance de la fréquence cardiaque

● **HoldPass** : Authentification biométrique fondée sur l'activité cardiaque

● **FUSIC** : Localisation en intérieur avec FTM (WiFi)

## ❑ Pour chacun des systèmes :

- ❑ Etude préliminaire
- ❑ Construction du système
- ❑ Implantation et évaluation des performances

# Conclusions

● **HandRate** : Surveillance de la fréquence cardiaque

● **HoldPass** : Authentification biométrique fondée sur l'activité cardiaque

● **FUSIC** : Localisation en intérieur avec FTM (WiFi)

## ❑ Pour chacun des systèmes :

- ❑ Etude préliminaire
- ❑ Construction du système
- ❑ Implantation et évaluation des performances

## ❑ Objectifs atteints :

- ❑ Résultats similaires ou meilleurs que ceux de systèmes comparables

# Perspectives

# Perspectives

## ❑ FTM/FUSIC : évaluation large échelle

- ❑ Déploiement plus grand et longues périodes de temps : bâtiments, aéroports, centres commerciaux

# Perspectives

## ❑ FTM/FUSIC : évaluation large échelle

- ❑ Déploiement plus grand et longues périodes de temps : bâtiments, aéroports, centres commerciaux
- ❑ Effet de la dynamique des utilisateurs sur la précision, effet sur la bande passante



# Perspectives

## ❑ FTM/FUSIC : évaluation large échelle

- ❑ Déploiement plus grand et longues périodes de temps : bâtiments, aéroports, centres commerciaux
- ❑ Effet de la dynamique des utilisateurs sur la précision, effet sur la bande passante

## ❑ HandRate : vers une solution plus complète et plus opportuniste

- ❑ D'autres constantes vitales : fréquence respiratoire, pression artérielle, etc.

# Perspectives

## ❑ FTM/FUSIC : évaluation large échelle

- ❑ Déploiement plus grand et longues périodes de temps : bâtiments, aéroports, centres commerciaux
- ❑ Effet de la dynamique des utilisateurs sur la précision, effet sur la bande passante

## ❑ HandRate : vers une solution plus complète et plus opportuniste

- ❑ D'autres constantes vitales : fréquence respiratoire, pression artérielle, etc.
- ❑ Utiliser d'autres capteurs : le micro par exemple

# Perspectives

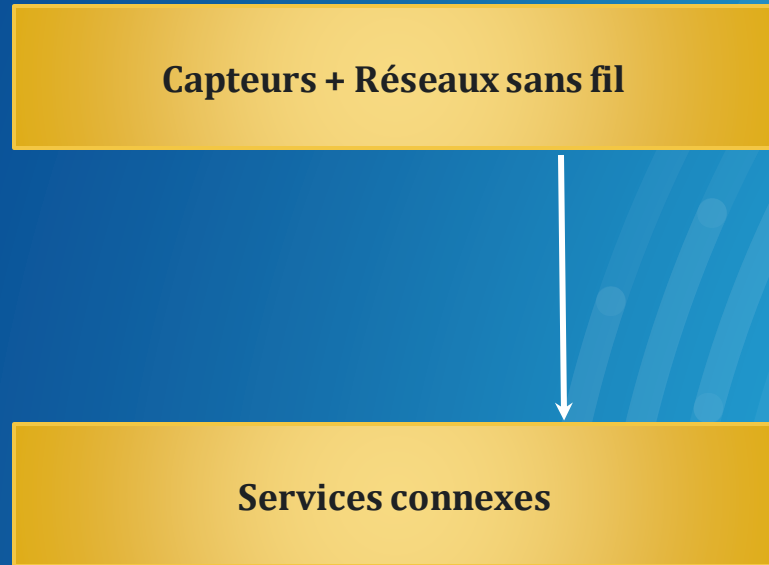
## ❑ FTM/FUSIC : évaluation large échelle

- ❑ Déploiement plus grand et longues périodes de temps : bâtiments, aéroports, centres commerciaux
- ❑ Effet de la dynamique des utilisateurs sur la précision, effet sur la bande passante

## ❑ HandRate : vers une solution plus complète et plus opportuniste

- ❑ D'autres constantes vitales : fréquence respiratoire, pression artérielle, etc.
- ❑ Utiliser d'autres capteurs : le micro par exemple
- ❑ Pendant le sommeil et qualité du sommeil

# A long terme : les réseaux sans fil multi-fonctions

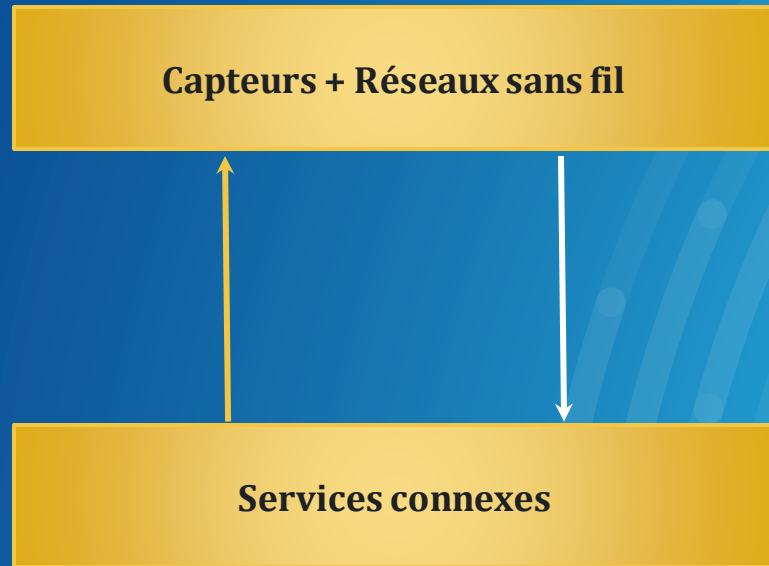


# A long terme : les réseaux sans fil multi-fonctions



- ❑ *Wireless sensing* : les réseaux comme des capteurs
- ❑ Applications : suivi de la santé, localisation, authentification biométrique, reconnaissance des gestes, des activités, etc.

# A long terme : les réseaux sans fil multi-fonctions



- ❑ *Wireless sensing* : les réseaux comme des capteurs
- ❑ Applications : suivi de la santé, localisation, authentification biométrique, reconnaissance des gestes, des activités, etc.

# A long terme : les réseaux sans fil multi-fonctions

- ❑ Le *wireless sensing* au service de réseaux plus intelligents et plus performants : quelques exemples

# A long terme : les réseaux sans fil multi-fonctions

## □ Le *wireless sensing* au service de réseaux plus intelligents et plus performants : quelques exemples

### □ Connaissance de la position ==>

- Algorithmes de formation de faisceaux
- Allocation des ressources fondée sur la position



# A long terme : les réseaux sans fil multi-fonctions

## ❑ Le *wireless sensing* au service de réseaux plus intelligents et plus performants : quelques exemples

### ❑ Connaissance de la position ==>

- Algorithmes de formation de faisceaux
- Allocation des ressources fondée sur la position

### ❑ Détection des activités et émotions ==>

- Allocation des ressources, QoS, expérience utilisateur

# A long terme : les réseaux sans fil multi-fonctions

## ❑ *Le wireless sensing* au service de réseaux plus intelligents et plus performants : quelques exemples

### ❑ Connaissance de la position ==>

- Algorithmes de formation de faisceaux
- Allocation des ressources fondée sur la position

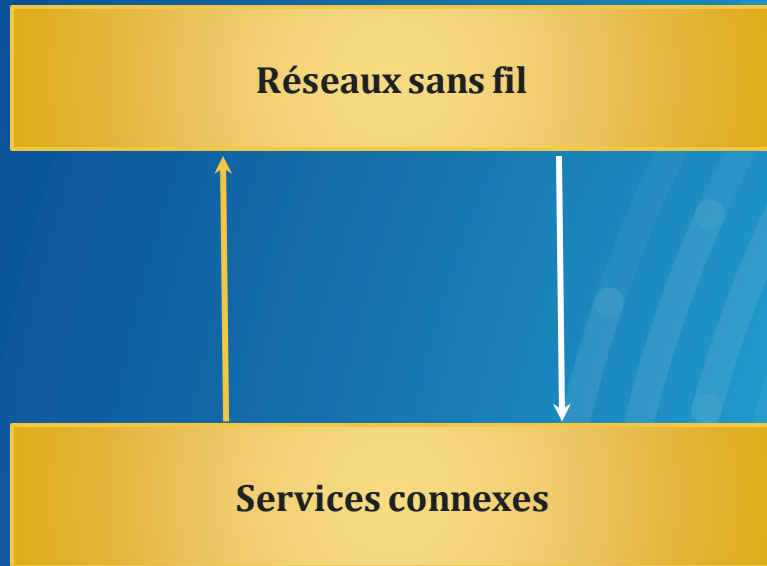
### ❑ Détection des activités et émotions ==>

- Allocation des ressources, QoS, expérience utilisateur

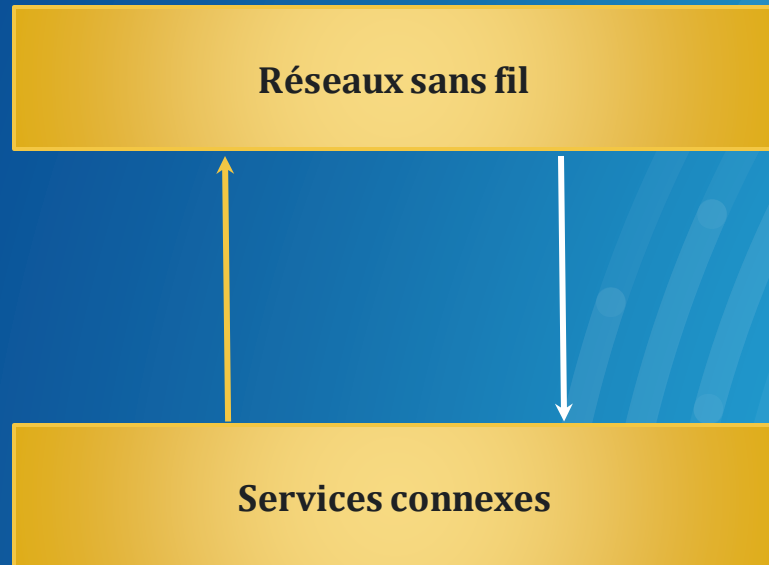
### ❑ Authentification biométrique ==>

- Activation/désactivation de certains services réseau
- Autoriser/proscrire l'association aux points d'accès

# A long terme : les réseaux sans fil multi-fonctions

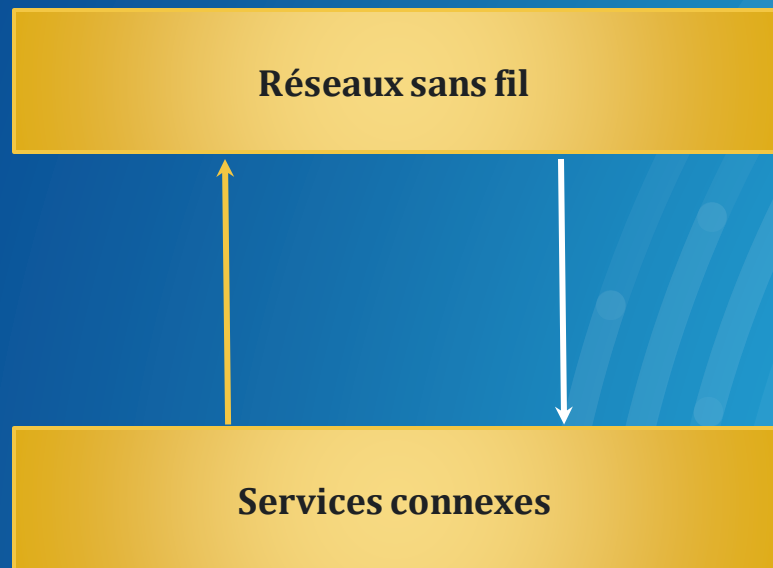


# A long terme : les réseaux sans fil multi-fonctions



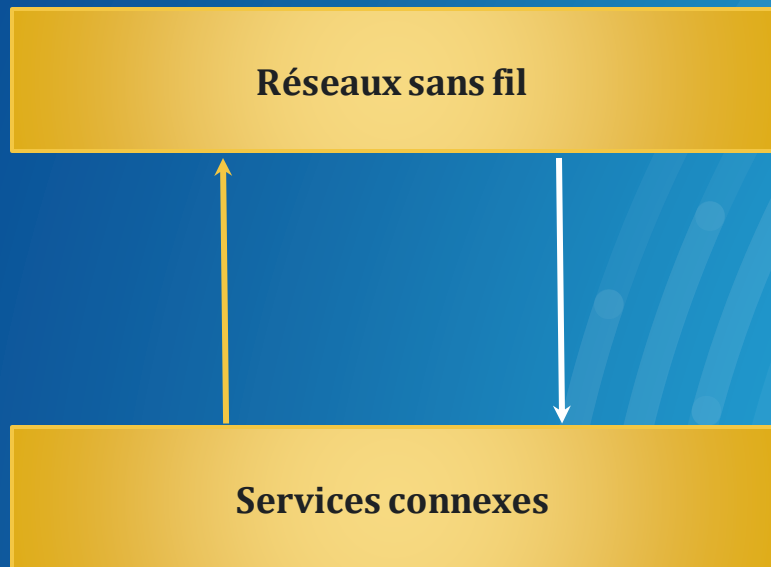
- ❑ **Axe 1 : Réaliser les services connexes avec fiabilité**
  - ❑ Détection des activités, émotions, localisation, authentification, etc.

# A long terme : les réseaux sans fil multi-fonctions



- ❑ **Axe 1 : Réaliser les services connexes avec fiabilité**
  - ❑ Détection des activités, émotions, localisation, authentification, etc.
  - ❑ Nouveaux services : aussi loin que peut aller notre imagination !

# A long terme : les réseaux sans fil multi-fonctions



- ❑ **Axe 1 : Réaliser les services connexes avec fiabilité**
  - ❑ Détection des activités, émotions, localisation, authentification, etc.
  - ❑ Nouveaux services : aussi loin que peut aller notre imagination !
- ❑ **Axe 2 : Repenser/améliorer les services réseaux en conséquence**
  - ❑ Exemple : allocation des ressources en fonction des activités/priorités

**Merci pour votre attention.**

Questions....

# Publications

- ❑ **[PerCom 2021] HandRate: Heart Rate Monitoring While Simply Holding a Smartphone**  
Kevin Jiokeng, Gentian Jakllari, and André-Luc Beylot
- ❑ **[INFOCOM 2020] When FTM Discovered MUSIC: Accurate WiFi-based Ranging in the Presence of Multipath**  
Kevin Jiokeng, Gentian Jakllari, Alain Tchan, and André-Luc Beylot
- ❑ **[CoRes 2020] FUSIC, du Ranging WiFi de haute précision en présence de multi-trajet**  
Kevin Jiokeng, Gentian Jakllari, Alain Tchan, and André-Luc Beylot
- ❑ **[IMWUT 2022 – Major revisions] I Want to Know Your Hand: Authentication on Commodity Mobile Phones Based on Your Hand's Vibrations**  
Kevin Jiokeng, Gentian Jakllari, and André-Luc Beylot