

Projet de Fin d'Études

Le bruit en ville

Étude de la mise en place d'un réseau de capteurs sonores en milieu urbain pour localiser une source sonore impulsive



MARCHAL SARAH
PFE 2023-2024
UIT/RESEAU

Sous la direction : BAPTISTE Hervé

Contexte

Avec l'avènement des villes intelligentes, les fameuses "smart cities" sont dotées de plus en plus de réseaux de microphones, servant d'oreilles pour "écouter" l'environnement urbain, complétant ainsi les réseaux de caméras qui agissent comme les yeux de la ville.

Les capteurs sonores peuvent détecter des "bruits impulsifs", définis comme des sons "anormaux, soudains et forts". Ces types de bruits, pouvant indiquer des incidents tel un tir de coup de feu ou des accidents, nécessitent d'être localisés afin d'obtenir une réponse rapide des services d'urgence pour minimiser les dommages physiques, psychologiques et matériels.

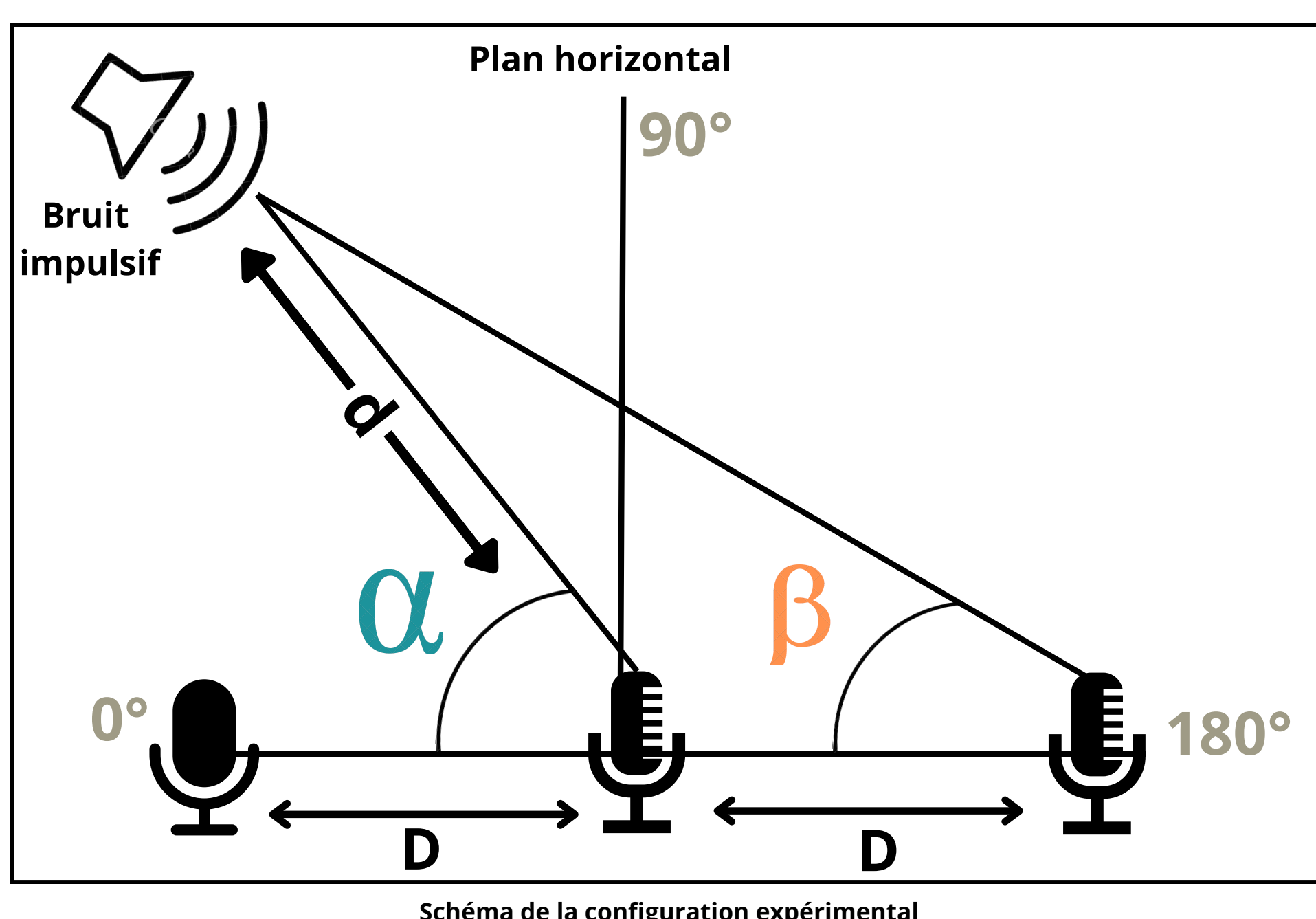
Méthodologie

Un protocole expérimental a été élaboré afin d'obtenir la direction d'arrivée (angle α et β) de la source sonore avec le principe du TDOA.

Cette expérience a permis d'analyser certaines variables telles que la distance D inter-microphone et la distance d entre la source sonore- microphone.

Collecte des données

- Environnement expérimental : salon d'une maison
- Matériel : 3 microphones de smartphones, logiciel Matlab et Audacity
- Paramètre d'enregistrement : fréquence d'échantillonnage élevée, enregistrement en mono
- Synchronisation des enregistrements : bruit d'un claquement de main pour le repère du début
- Configuration expérimentale : réseau linéaire uniforme

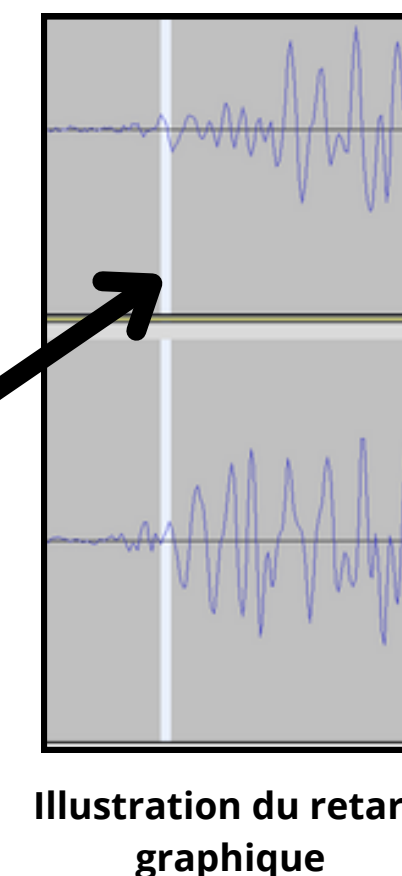


La droite d'angle α constant sert de repère sur laquelle la source sonore est émise artificiellement tous les 1 mètres sur une distance de 10 mètres par rapport au microphone du milieu à l'origine.

Traitement des données

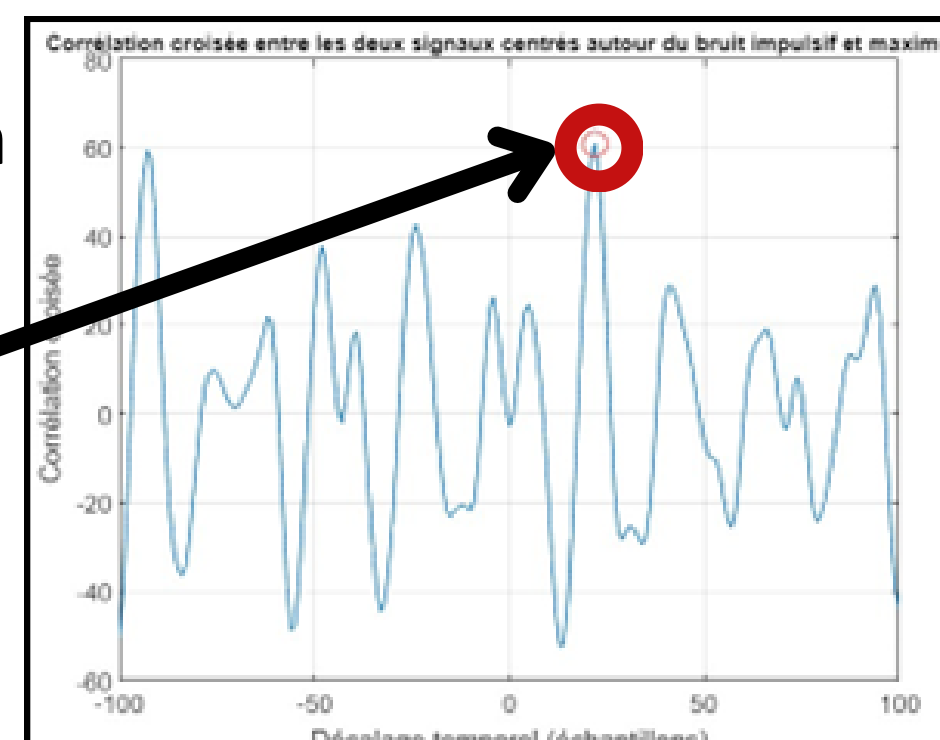
1. Acquisition des signaux
 2. Calcul du TDOA τ :
- La méthode n°1 par analyse graphique

$$\tau = \frac{\text{nombre d'échantillons}}{\text{fréquence échantillonnage}}$$



- La méthode n°2 avec la Corrélation Croisée

$$\tau = \text{pic de corrélation}$$

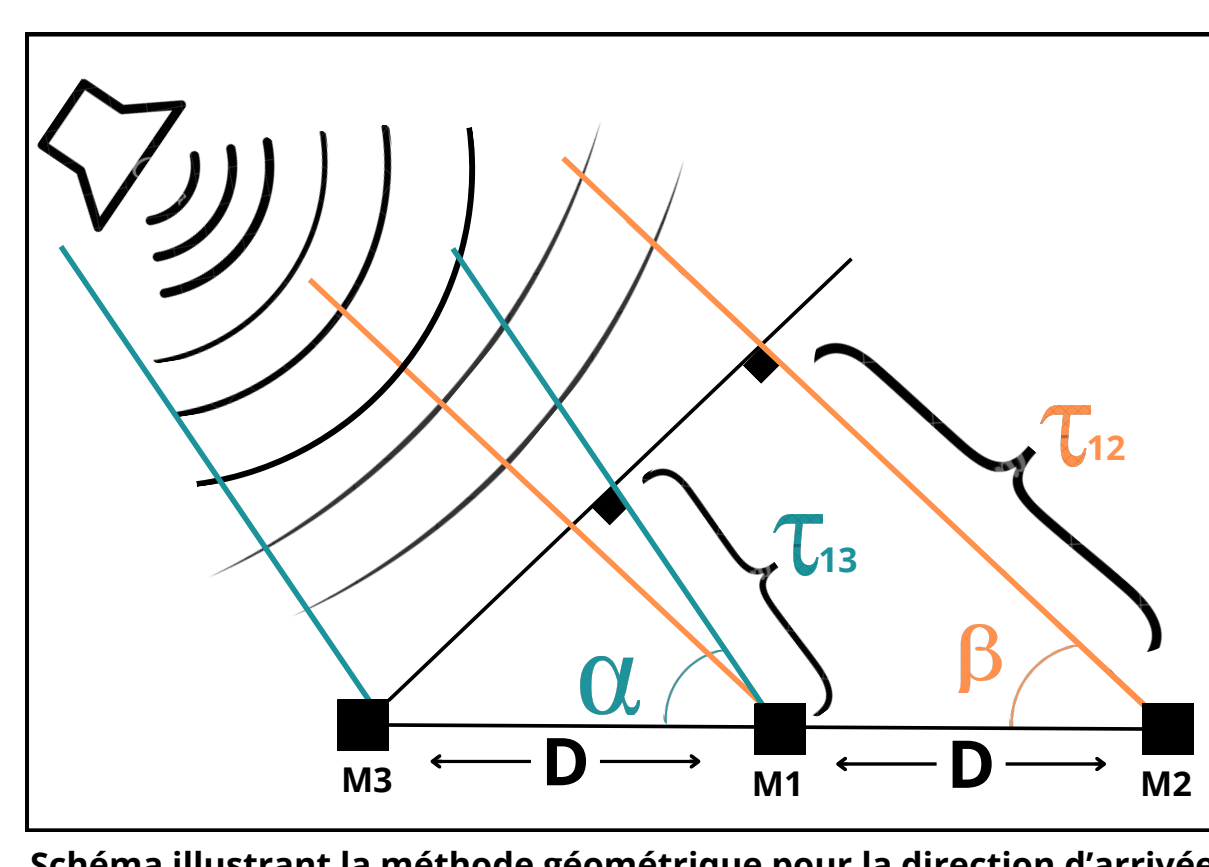


3. Calcul de la direction de la source, avec les angles α et β , à partir de τ

Avec l'hypothèse de l'onde plane et de la configuration géométrique, voici un exemple pour calculer l'angle α :

$$\cos(\alpha) = \frac{\Delta d}{D} = \frac{\tau_{13} \cdot c}{D}$$

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{\tau_{13} \cdot c}{D} \right)$$

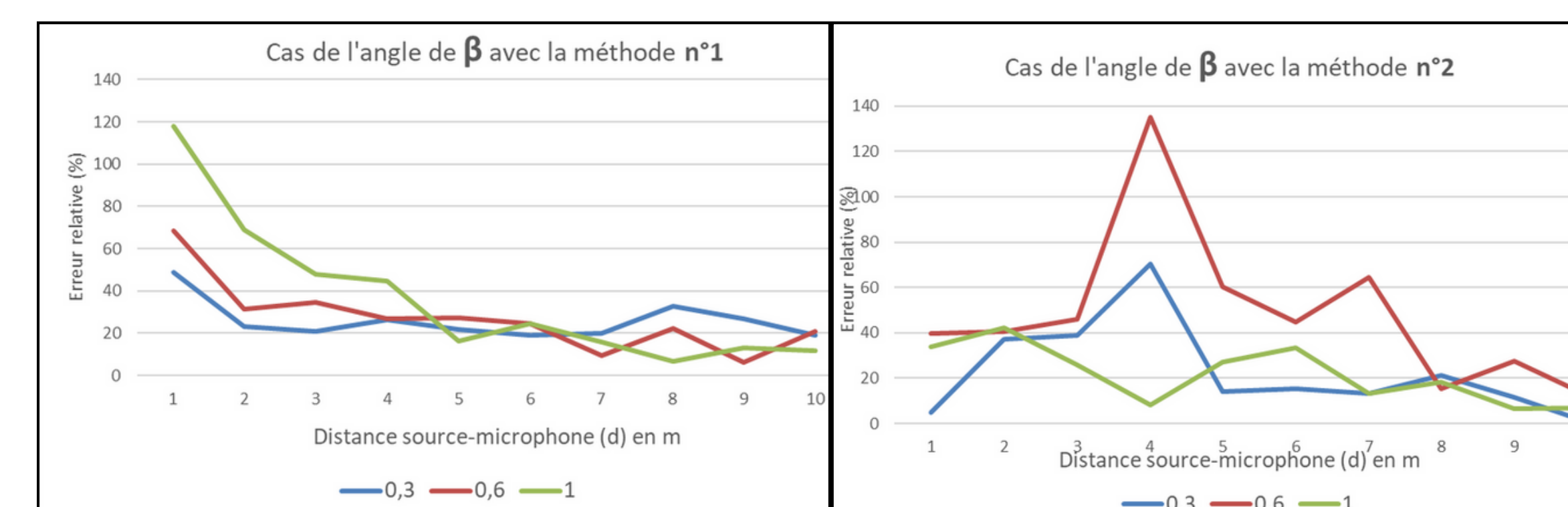


État de l'art

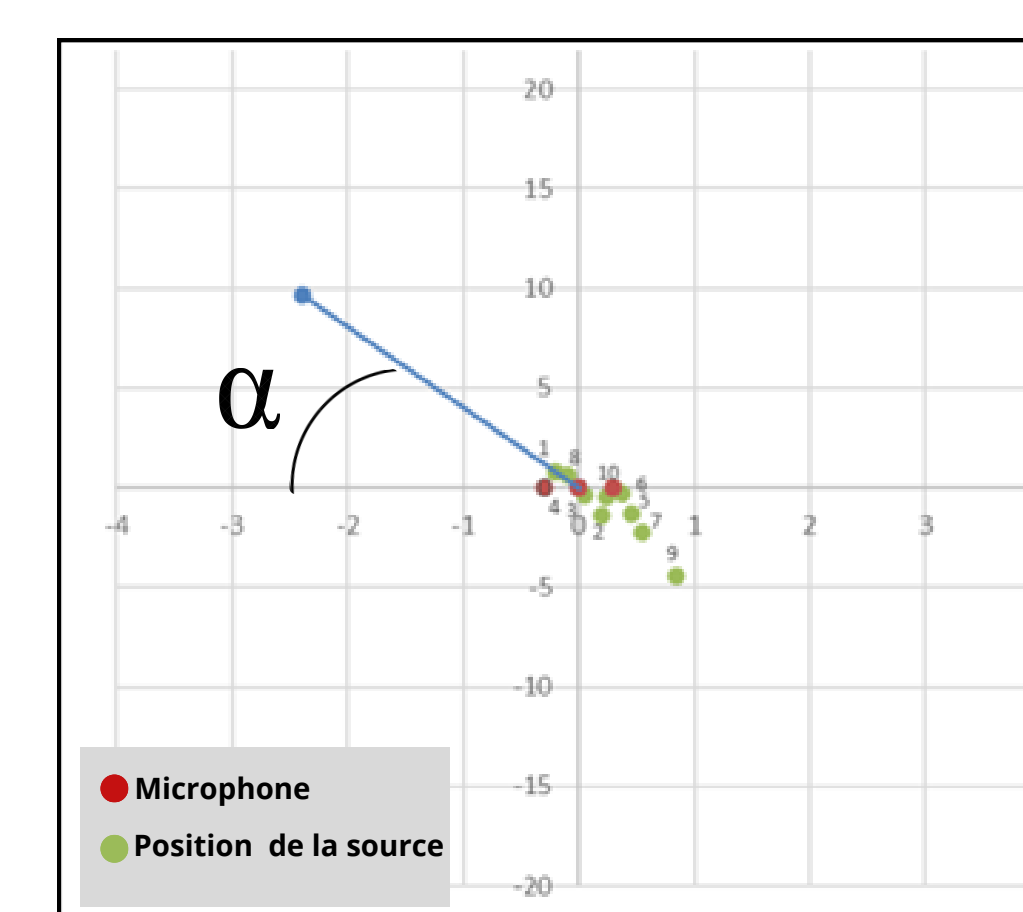
L'état de l'art a permis de sélectionner une méthode pour obtenir la direction de la source sonore : la TDOA, le décalage temporel basé sur la différence de temps d'arrivée du son aux capteurs sonores.

Ce principe a été choisi en raison de divers critères : sa discrétion dans l'environnement, une précision acceptable, sa capacité de traitement en temps réel, son faible coût matériel et computationnel.

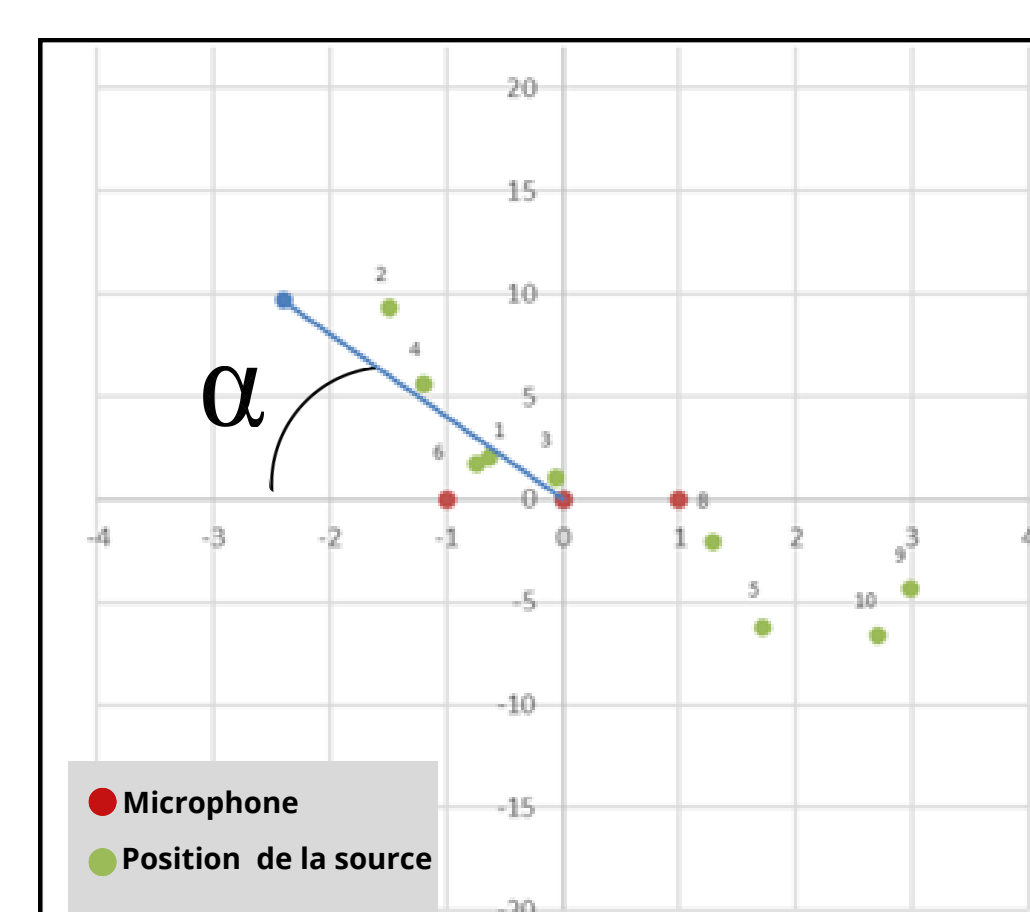
Résultats



Avec la méthode n°1 et n°2, pour calculer l'angle β , l'erreur relative diminue avec une grande distance inter-microphone notamment lorsque la distance source-microphone est élevée.



Positions spatiales pour $D= 0,3m$



Positions spatiales pour $D= 1m$

Les positions de la source sonore impossibles (en dessous de l'axe des abscisses), sont plus nombreuses pour une faible distance inter-microphone ($D= 0,3m$). Tandis que pour une grande distance inter-microphone ($D= 1m$), les positions expérimentales semblent plus fidèles au modèle théorique (près de la droite d' α).

Conclusion

Bien que l'expérience présente des imprécisions élevées dues à des conditions du milieu, un matériel et un algorithme non optimaux, la précision angulaire de la direction d'arrivée est influencée par la configuration spatiale. Il est préférable d'utiliser une distance entre les capteurs sonores plus grande, surtout si la source sonore est éloignée du réseau de microphones. Pour diminuer les imprécisions, on peut améliorer l'algorithme avec le filtre GCC PHAT et prendre en compte les perturbations du milieu.

Afin de localiser une source sonore rapidement, la méthode du TDOA a été sélectionnée selon des critères. Le protocole élaboré pendant l'expérience a montré que la précision est acceptable et que les variables étudiées préconisent une grande distance inter-microphone et source-microphone pour la configuration d'un réseau appliquée en milieu urbain. Néanmoins, avoir une grande taille de réseau n'est pas toujours adapté aux espaces petits et limités, dans ce cas la, méthode devra être ajustée.