Cloueuses portatives – Développement de méthodes de diagnostic vibratoire et acoustique

Présenté par:

Frédéric Laville
Professeur retraité associé

Pierre Marcotte
Chercheur

ÉTS
Le génie pour l'industrie

irsst
Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail

RVS, 11 décembre 2018

L’équipe de recherche

Frédéric Laville
Marc-André Gaudreau
Thomas Padois

Pierre Marcotte
Jérôme Boutin

Plan de la présentation

1. Problématique
2. Objectifs du projet
3. Outils sélectionnés
4. Banc de mesures normalisées (BMN)
5. Mesures terrains
6. Résultats bruit et vibrations BMN et mesures terrains
7. Dispositif de substitution de l'opérateur (DSO)
8. Diagnostic des sources de bruit
9. Pistes de solution
10. Conclusion/Retombées
11. Travaux futurs

1. Problématique de SST

- Les cloueuses génèrent des niveaux de bruit et de vibration élevés (bruit jusqu'à 101 dBA sur 8h et dose vibratoire A(8) jusqu'à 4,5 m/s^2)
- Bruit et vibration de nature impulsionnelle augmente le risque de maladie professionnelle
- Outils utilisés dans l'industrie de la construction (surtout charpentiers-menuisiers et couvreurs)
- Les charpentiers-menuisiers parmi les 5 premiers groupes de travailleurs indemnisés pour surdité professionnelle

1. Problématique technique/scientifique

- Mesure des émissions
  - Difficile de choisir des outils moins bruyant et moins vibrant car niveaux souvent pas connus
  - Validité des mesures d'émissions vibratoire et sonore effectuées en laboratoire (tâches simulées)?
- Réduction des émissions
  - Outils portatifs : techniques classiques de réduction du bruit non applicables (encoffrement, écran, etc.)
  - Très peu d'informations sur les sources de bruit et vibration: difficile de proposer des solutions

2. Objectifs

- Vérifier si les méthodes de mesure en laboratoire représentent bien les mesures terrains
  - Adapter ou améliorer au besoin les méthodes de mesure
- Développer et utiliser une méthode de diagnostic des sources de bruit et vibrations en laboratoire
- Formuler des pistes de solutions pour concevoir des outils moins bruyants et moins vibrants

3. Outils sélectionnés

(i) Toiture à bobine

PT1 PT2

(ii) Charpente à bobine

PR1 PR2

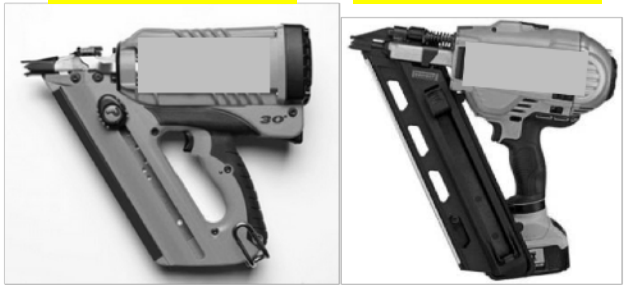
(iii) Charpente à bande

PB1 PB2*

PB3 PB4

(iv) Charpente à bande, non pneumatique

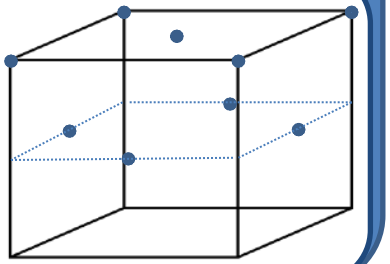
À gaz Électrique

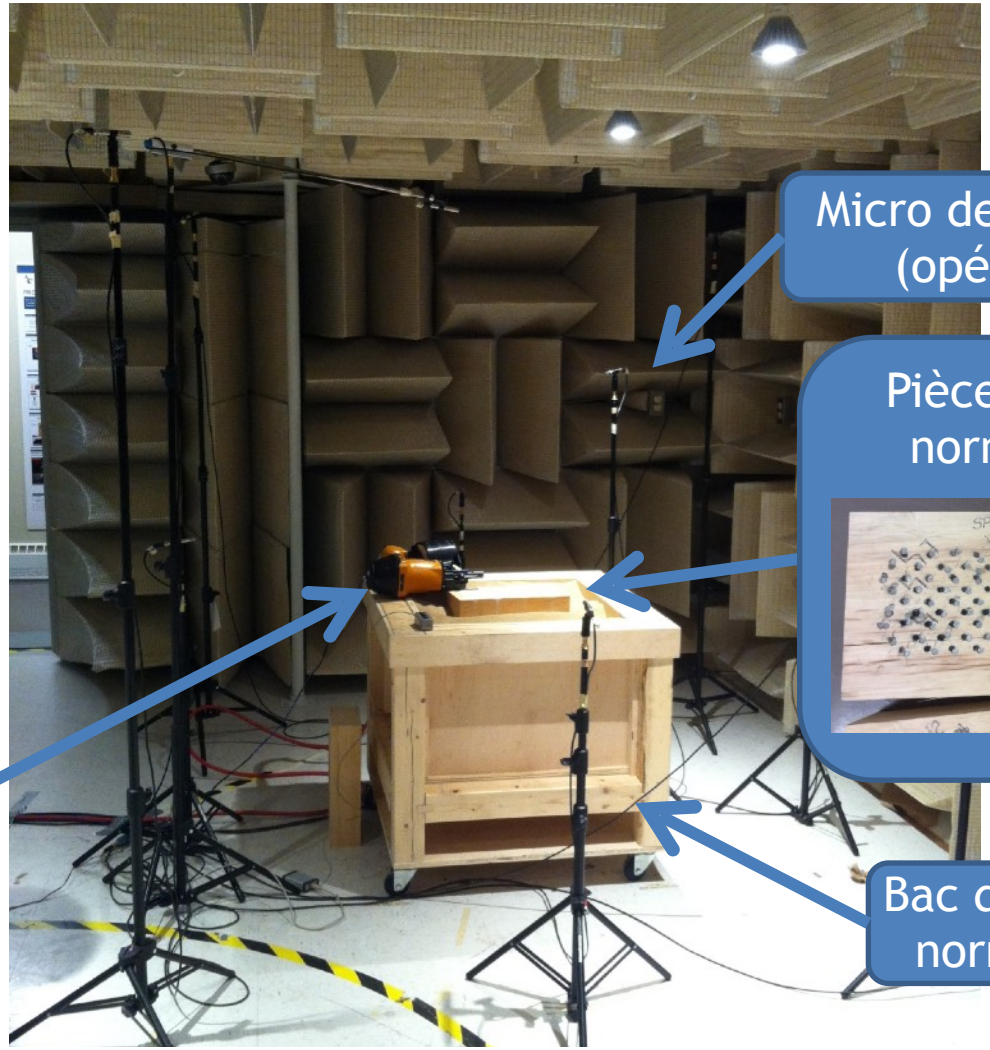


GB1 EB1

4. Banc de mesures normalisées (BMN)

9 micros (mesure de la puissance)





Micro de référence (opérateur)

Pièce de bois normalisée

Clouseuse, accéléromètres et capteur de pression

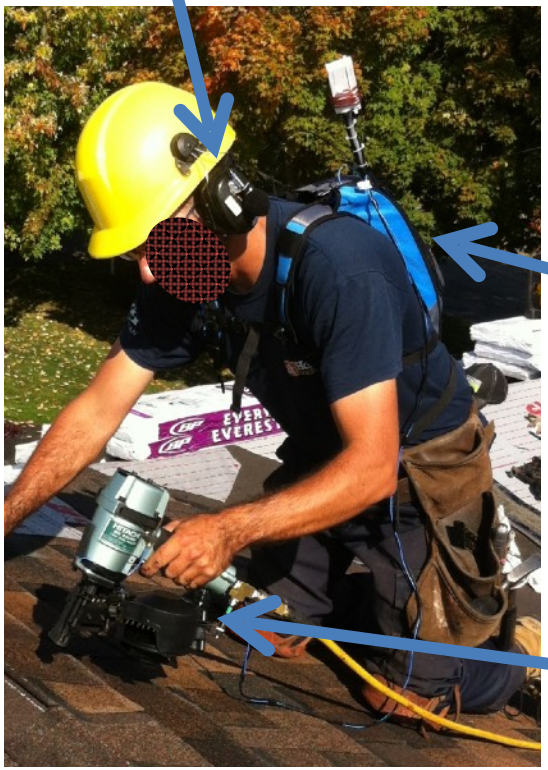
Bac de sable normalisé

4. Banc de Mesures Normalisées (BMN)

5. Mesures terrains

Micros (bruit)

Centre de contrôle avec antenne WiFi (réception)



Carte d'acquisition et antenne WiFi (émetteur)

Web Cam (vidéo)

Accéléromètres (vibration) et capteur de pression

6. Résultats: vibration à la poignée

Cloueuse	Accélération $a_{hw,3s}$ (m/s^2)		Différence (%)
	Terrain	Laboratoire	
PT1	5,7	4,8	-16
PT2	4,4	3,4	-23
PR1	4,9	4,9	0
PR2	4,4	3,4	-23
PB1	N/A	4,9	N/A
PB2	4,9	3,7	-25
PB3	3,8	3,6	-5
PB4	N/A	3,4	N/A
GB1	3,1	3,2	3
EB1	3,1	3,4	10

6. Résultats: vibration à la poignée

Cloueuse	Accélération $a_{hw,3s}$ (m/s²)		Différence (%)
	Terrain	Laboratoire	
PT1	5,7	4,8	-16
PT2	4,4	3,4	-23
PR1	4,9	4,9	0
PR2	4,4	3,4	-23
PB1	N/A	4,9	N/A
PB2	4,9	3,7	-25
PB3	3,8	3,6	-5
PB4	N/A	3,4	N/A
GB1	3,1	3,2	3
EB1	3,1	3,4	10

6. Classement selon le niveau de vibration

	Terrain				Laboratoire
	Accélération				Accélération
Rang	pondérée 3s (m/s^2)				pondérée 3s (m/s^2)
1	3,1	GB1		GB1	3,2
2	3,1	EB1		EB1	3,4
3	3,8	PB3		PR2	3,4
4	4,4	PR2		PB3	3,6
5	4,9	PB2		PB2	3,7
6	4,9	PR1		PR1	4,9

	Terrain				Laboratoire
	Accélération				Accélération
Rang	pondérée 3s (m/s^2)				pondérée 3s (m/s^2)
1	4,4	PT2		PT2	3,4
2	5,7	PT1		PT1	4,8

6. Classement selon le niveau de vibration

	Terrain				Laboratoire
	Accélération				Accélération
Rang	pondérée 3s (m/s^2)				pondérée 3s (m/s^2)
1	3,1	GB1		GB1	3,2
2	3,1	EB1		EB1	3,4
3	3,8	PB3		PR2	3,4
4	4,4	PR2		PB3	3,6
5	4,9	PB2		PB2	3,7
6	4,9	PR1		PR1	4,9

	Terrain				Laboratoire
	Accélération				Accélération
Rang	pondérée 3s (m/s^2)				pondérée 3s (m/s^2)
1	4,4	PT2		PT2	3,4
2	5,7	PT1		PT1	4,8

6. Résultats: niveau de bruit

Cloueuse	Niveau de bruit $L_{pA,1s}$ (dBA)		Différence (dBA)
	Laboratoire	Terrain	
PT1	97,7	99,5	1,8
PT2	95,9	97,7	1,8
PR1	99,1	98,2	-0,9
PR2	95,7	98,4	2,7
PB1	99,0	98,5	-0,5
PB2	96,6	100,1	3,5
PB3	97,0	98,7	1,7
PB4	99,0	N/A	N/A
GB1	101,1	99,7	-1,4
EB1	89,6	91,7	2,1

6. Résultats: niveau de bruit

Cloueuse	Niveau de bruit $L_{pA,1s}$ (dBA)		Différence (dBA)
	Laboratoire	Terrain	
PT1	97,7	99,5	1,8
PT2	95,9	97,7	1,8
PR1	99,1	98,2	-0,9
PR2	95,7	98,4	2,7
PB1	99,0	98,5	-0,5
PB2	96,6	100,1	3,5
PB3	97,0	98,7	1,7
PB4	99,0	N/A	N/A
GB1	101,1	99,7	-1,4
EB1	89,6	91,7	2,1

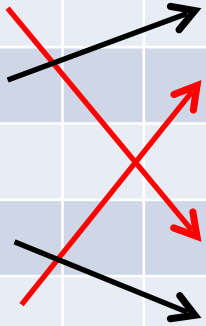
Classement selon le niveau de bruit

	Terrain				Laboratoire
Rang	Pression acoustique 1s (dBA)				Pression acoustique 1s (dBA)
1	91,7	EB1		EB1	89,6
2	98,2	PR1		PR2	95,7
3	98,4	PR2		PB2	96,6
4	98,7	PB3		PB3	97,0
5	99,7	GB1		PR1	99,1
6	100,1	PB2		GB1	101,1

	Terrain				Laboratoire
Rang	Pression acoustique 1s (dBA)				Pression acoustique 1s (dBA)
1	97,7	PT2		PT2	95,9
2	99,5	PT1		PT1	97,7

6. Classement selon le niveau de bruit

	Terrain				Laboratoire
Rang	Pression acoustique 1s (dBA)				Pression acoustique 1s (dBA)
1	91,7	EB1		EB1	89,6
2	98,2	PR1		PR2	95,7
3	98,4	PR2		PB2	96,6
4	98,7	PB3		PB3	97,0
5	99,7	GB1		PR1	99,1
6	100,1	PB2		GB1	101,1



	Terrain				Laboratoire
Rang	Pression acoustique 1s (dBA)				Pression acoustique 1s (dBA)
1	97,7	PT2		PT2	95,9
2	99,5	PT1		PT1	97,7

7. Dispositif de substitution de l'opérateur (DSO)

But : Réduire la variabilité et simplifier les mesures

→ **faciliter l'investigation des sources (bruit, vibration)**

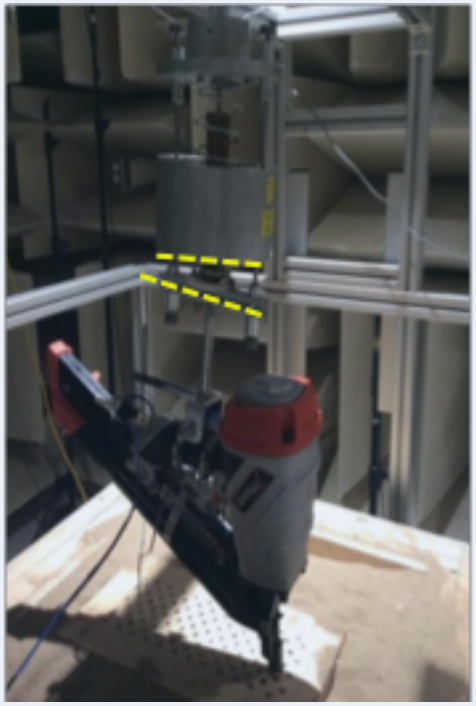
BMN → 3 humains, total 150 clous
(banc de mesure normalisée)

vs

DSO → 0 humain, total 10 clous
(dispositif de substitution de l'opérateur)

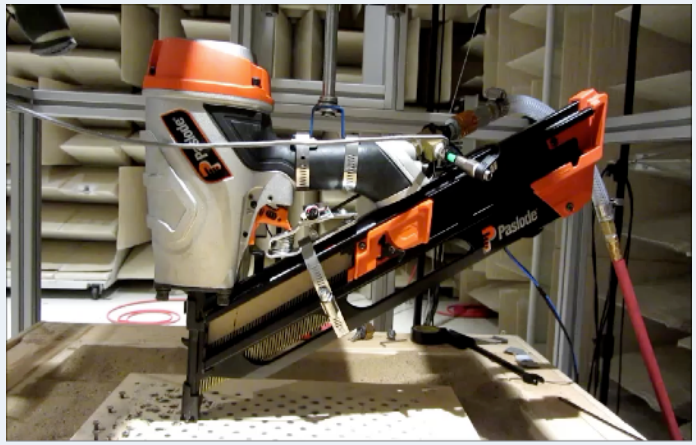
7. Test avec DSO existant

DSO développé à l'IRSST pour marteaux-burineurs

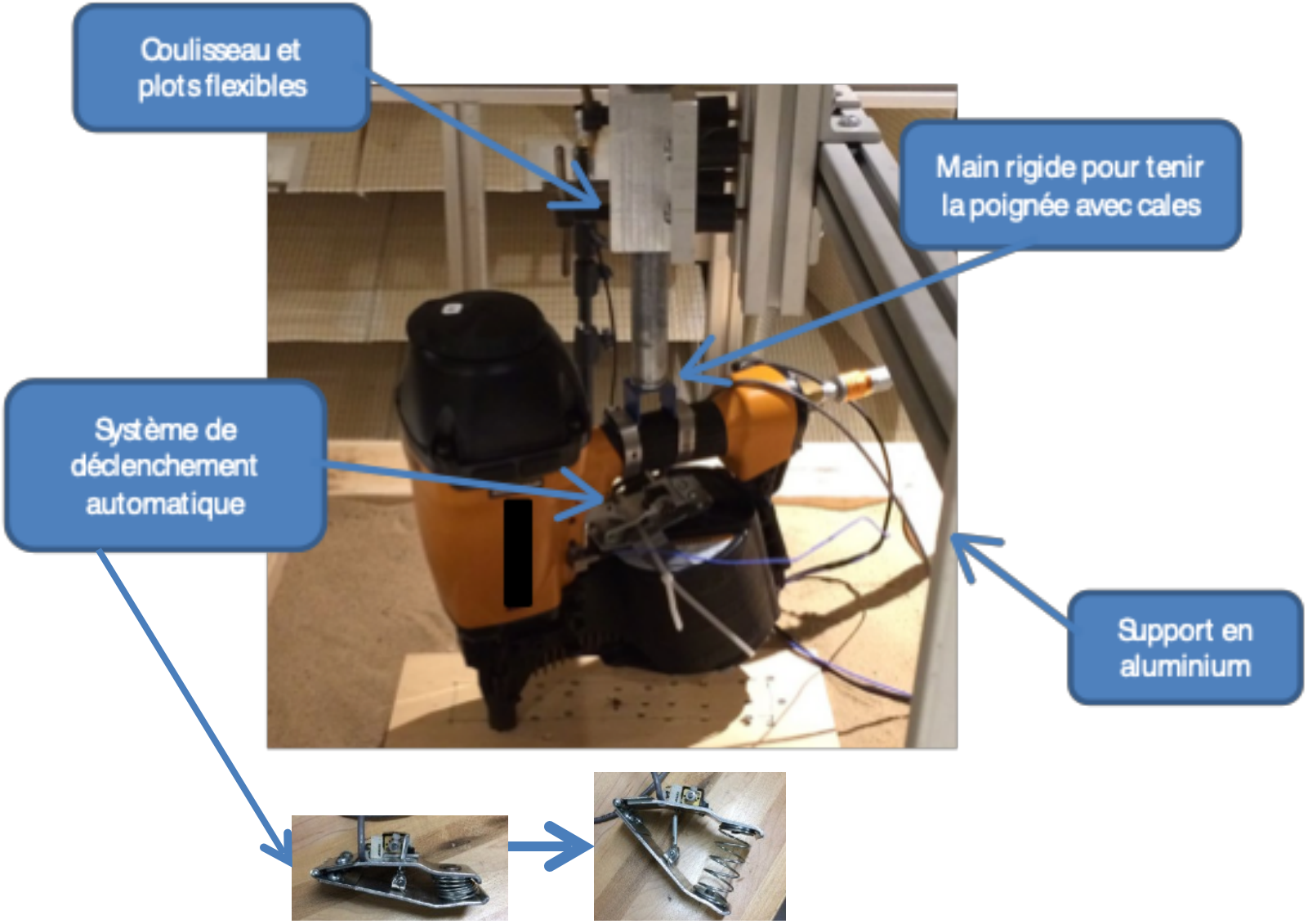


Problèmes de torsion et de préhension

Problème de déclenchement

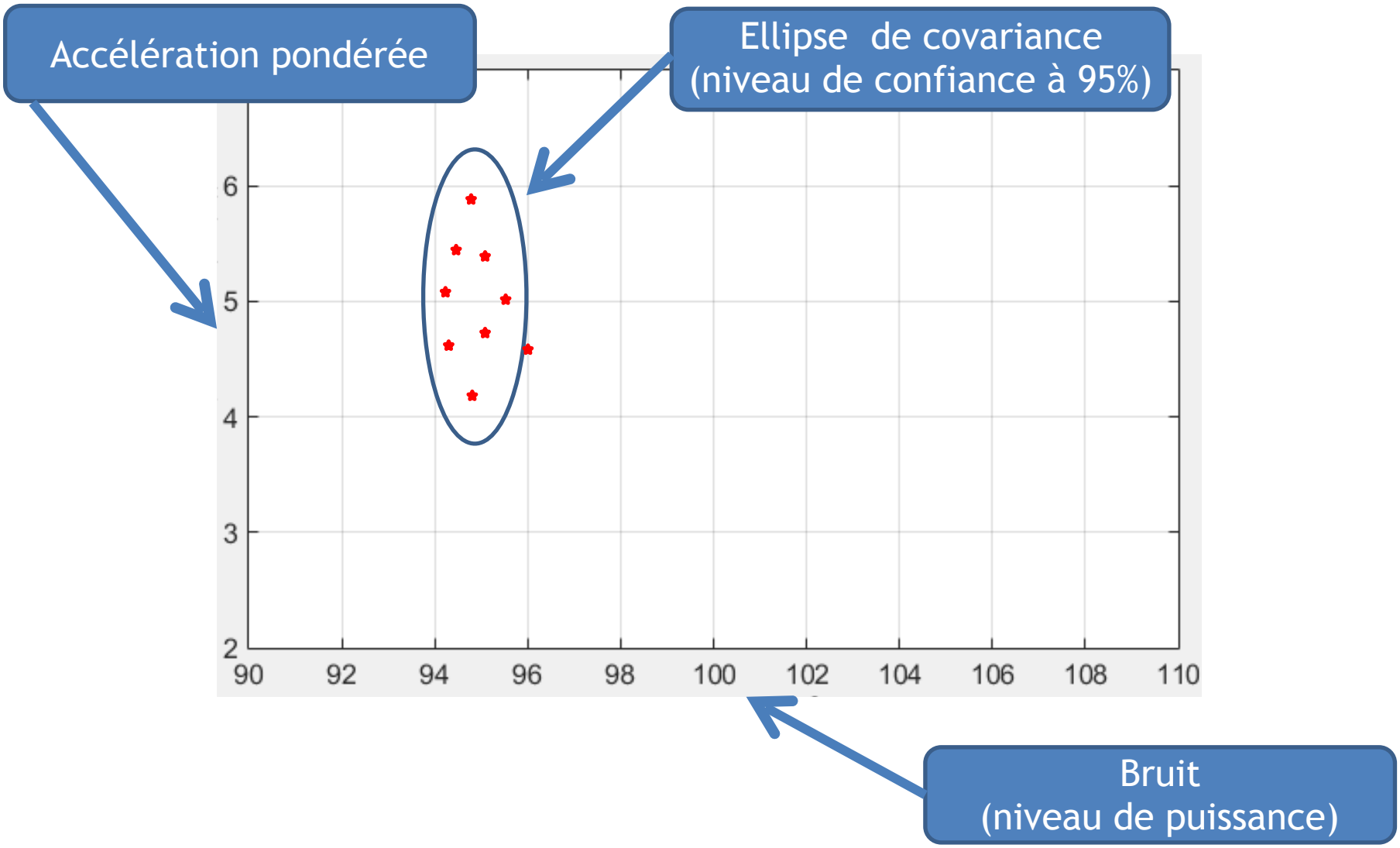


7. DSO pour cloueuse

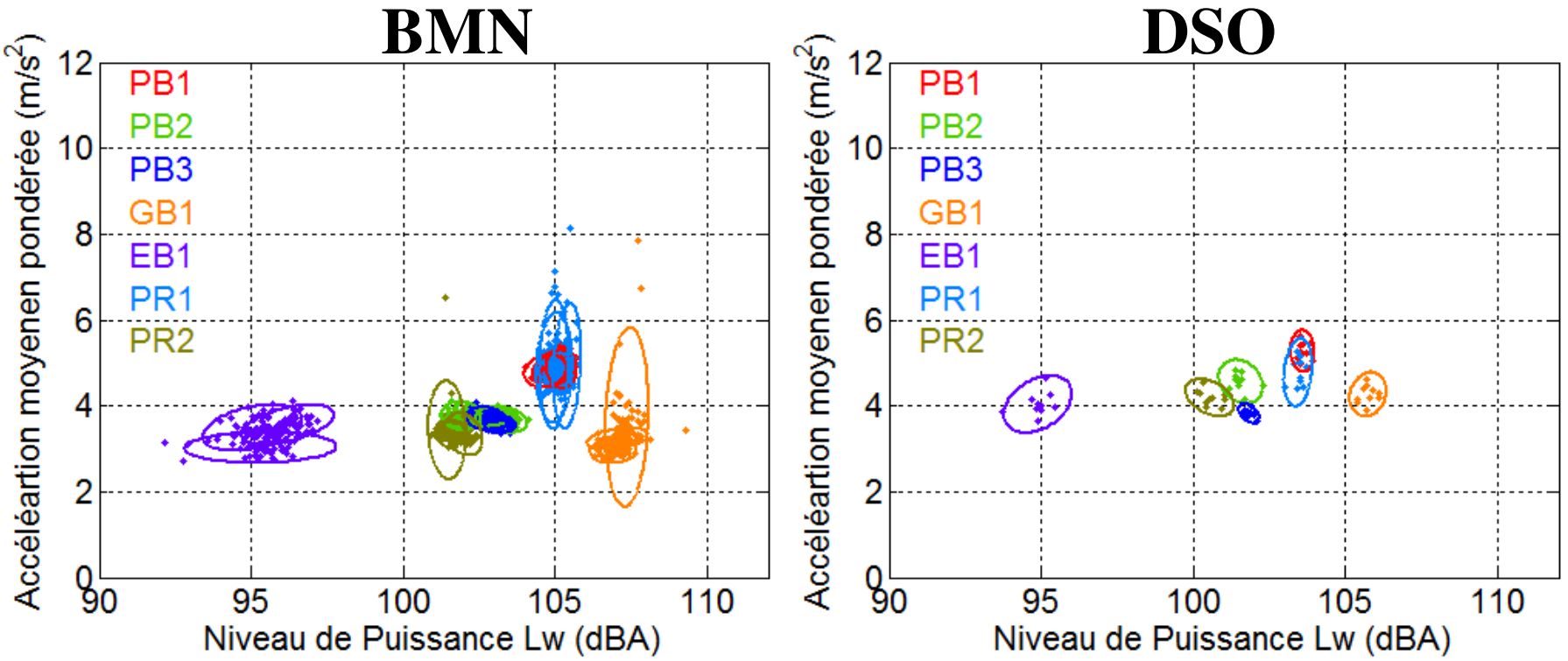


7. DSO en action

7. Validation du DSO



7. Validation du DSO

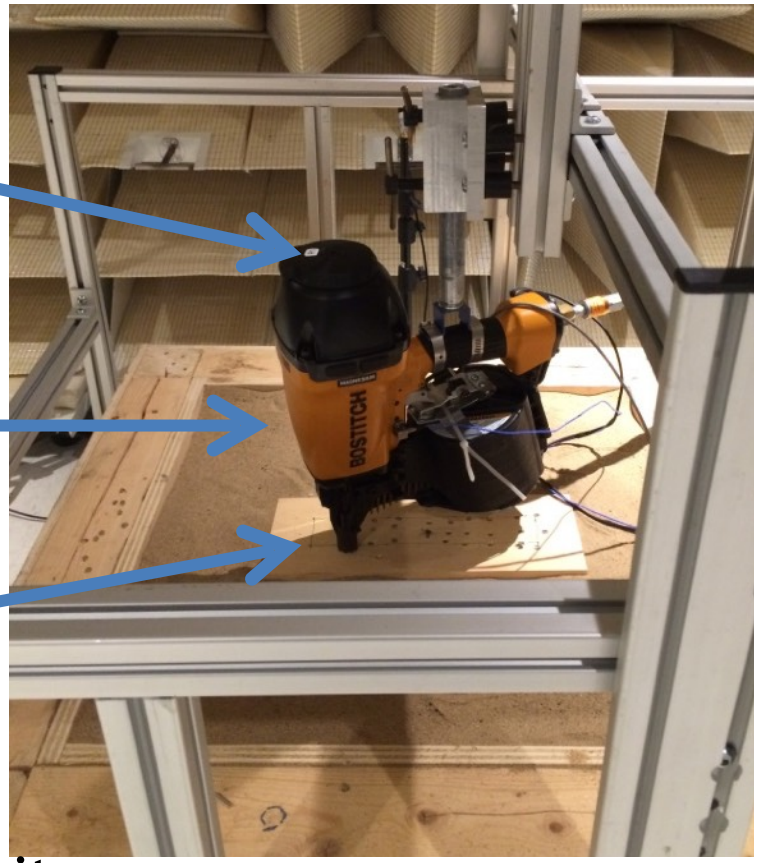


<u>Différence entre BMN et DSO</u>:

Accélération pondérée: 0,1 à 1,1 m/s²

Puissance acoustique: 0 à 1,2 dBA

8. Diagnostic des sources de bruit

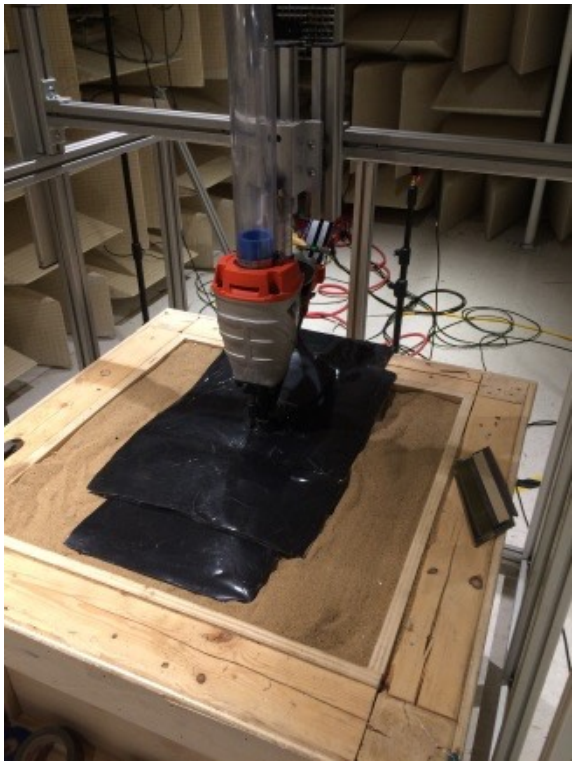


Outils de diagnostic :

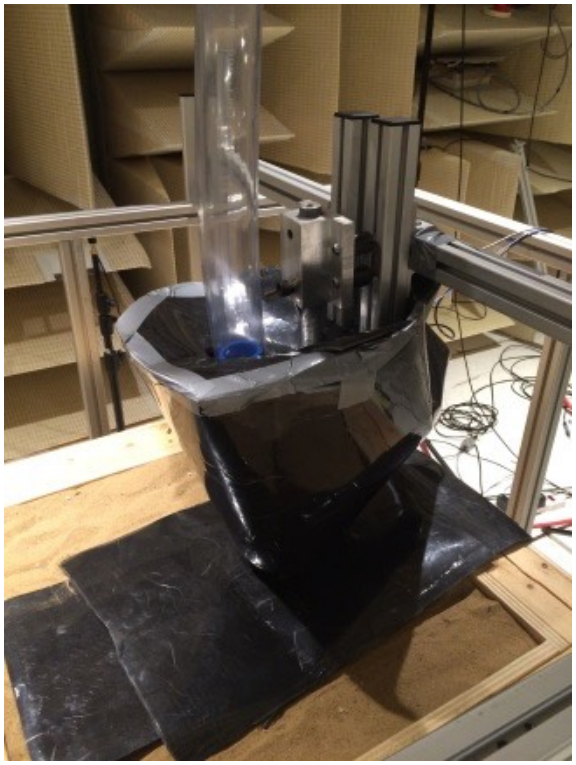
8.1- Masquage des sources de bruits
8.2- Antennerie acoustique
8.3- Banc rayonnant (influence du rayonnement de la pièce travaillée)
8.4- Caméra haute vitesse

8.1 Masquage des sources de bruit

Encoffrement de la buche



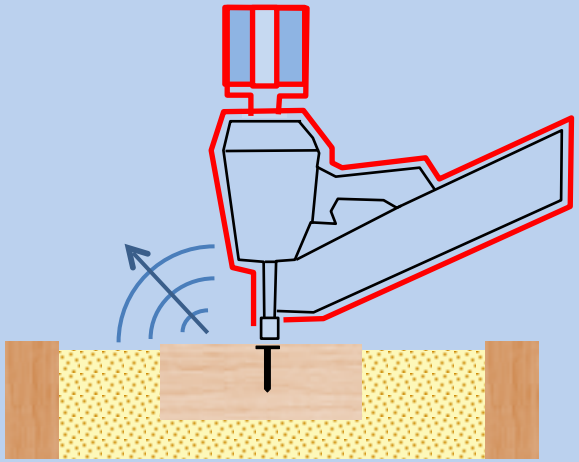
Encoffrement de la buche + silencieux



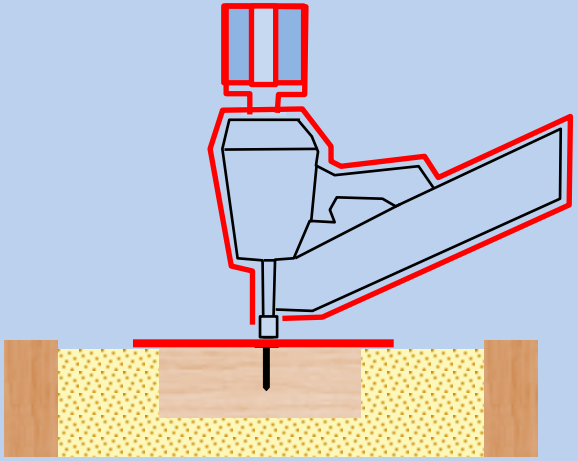
Encoffrement total de la cloueuse

8.1 Masquage des sources de bruit

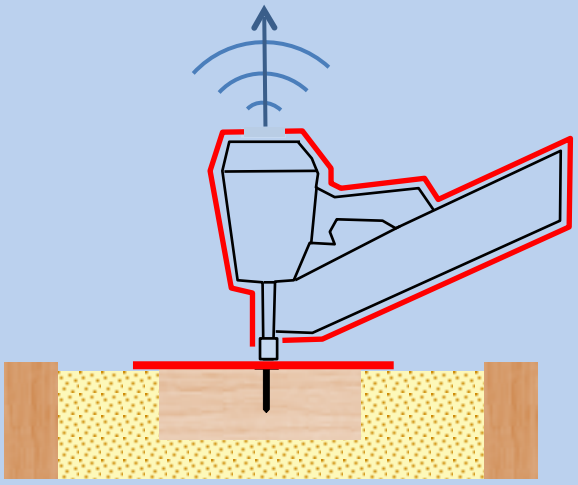
Pièce travaillée seule



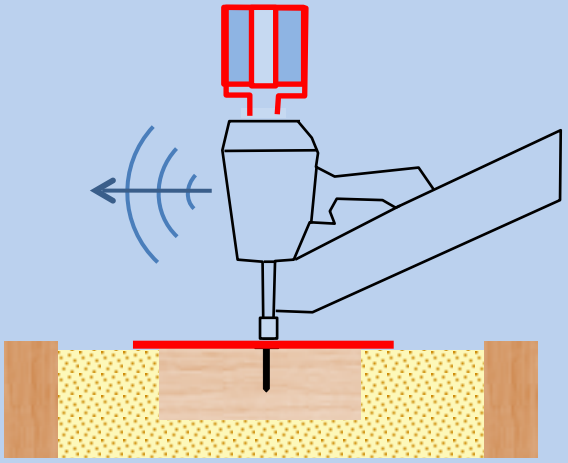
Bruit résiduel



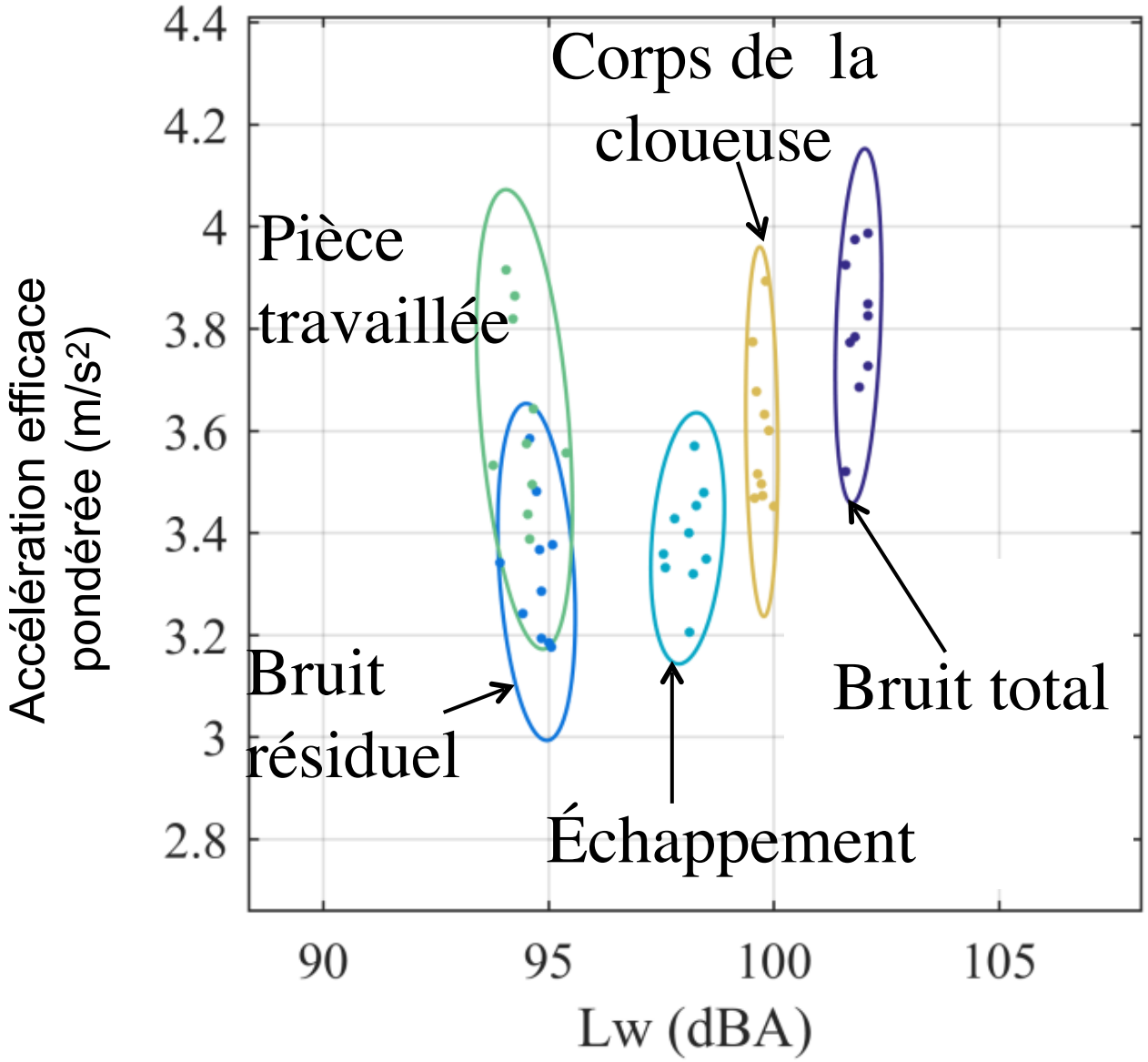
Échappement seul



Corps seul



8.1 Masquage des sources de bruit



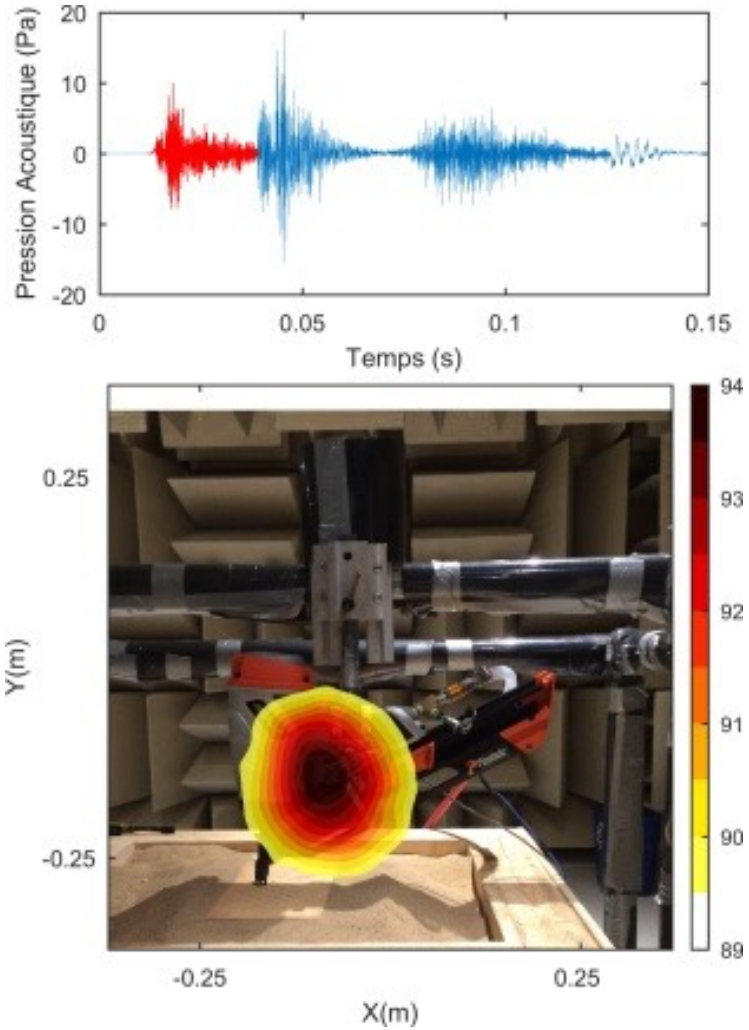
8.2 Imagerie acoustique

Antenne acoustique

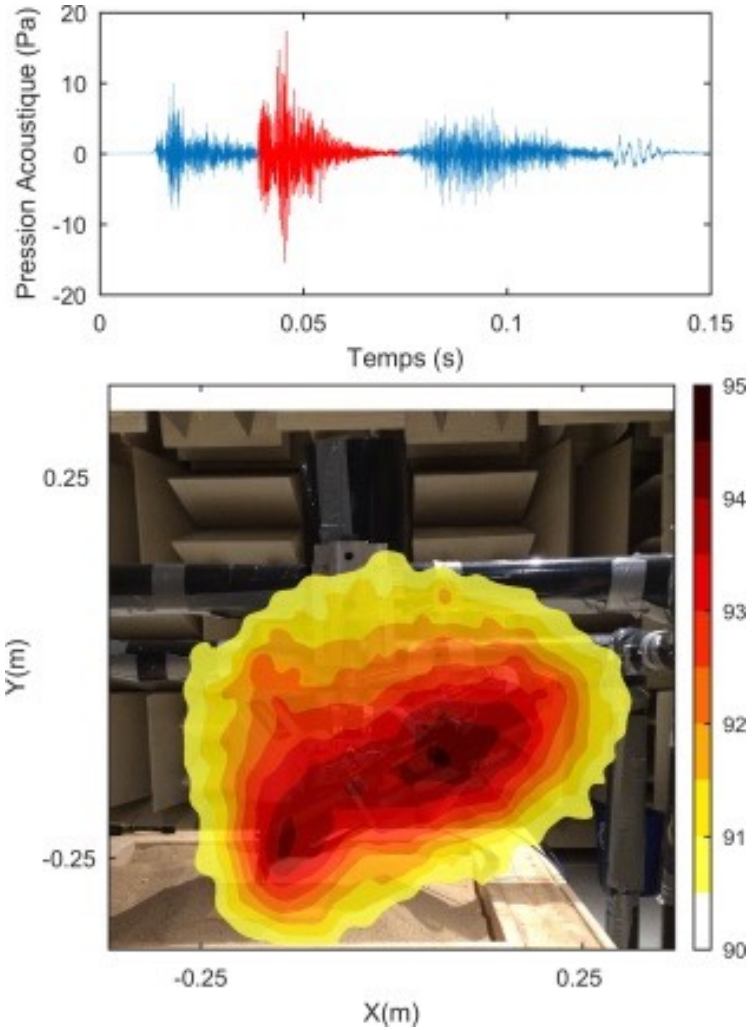
41 microphones (positionnés en 6 spirales)

Formation de faisceaux dans le domaine temporel

8.2 Imagerie acoustique (pneumatique)

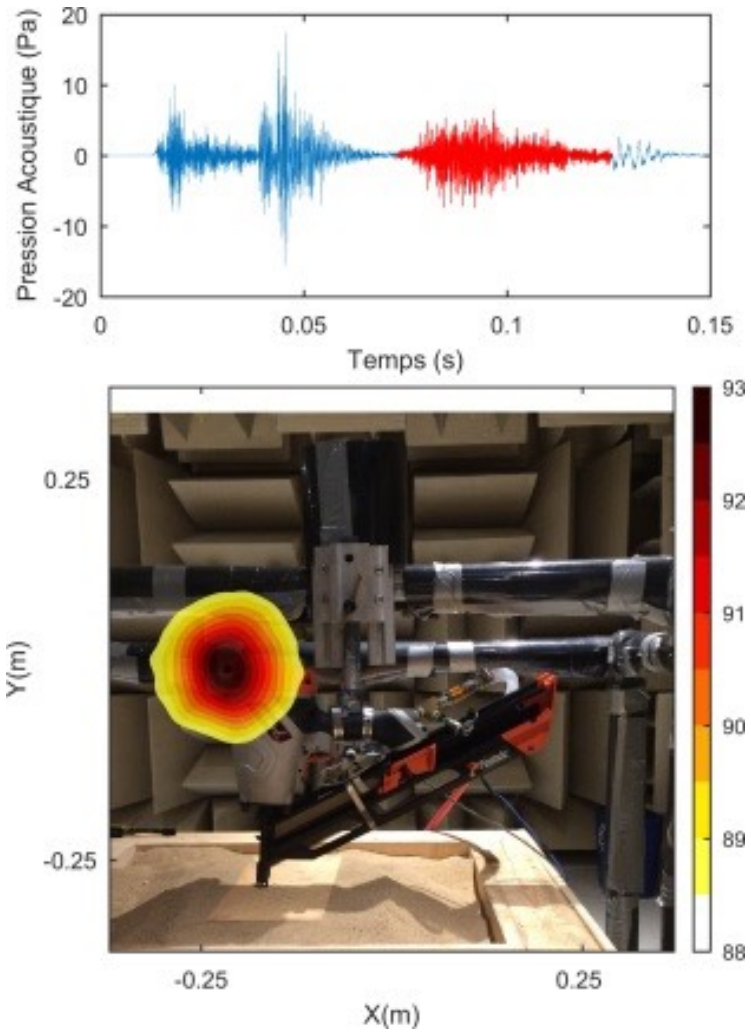


Gâchette/entrée d'air

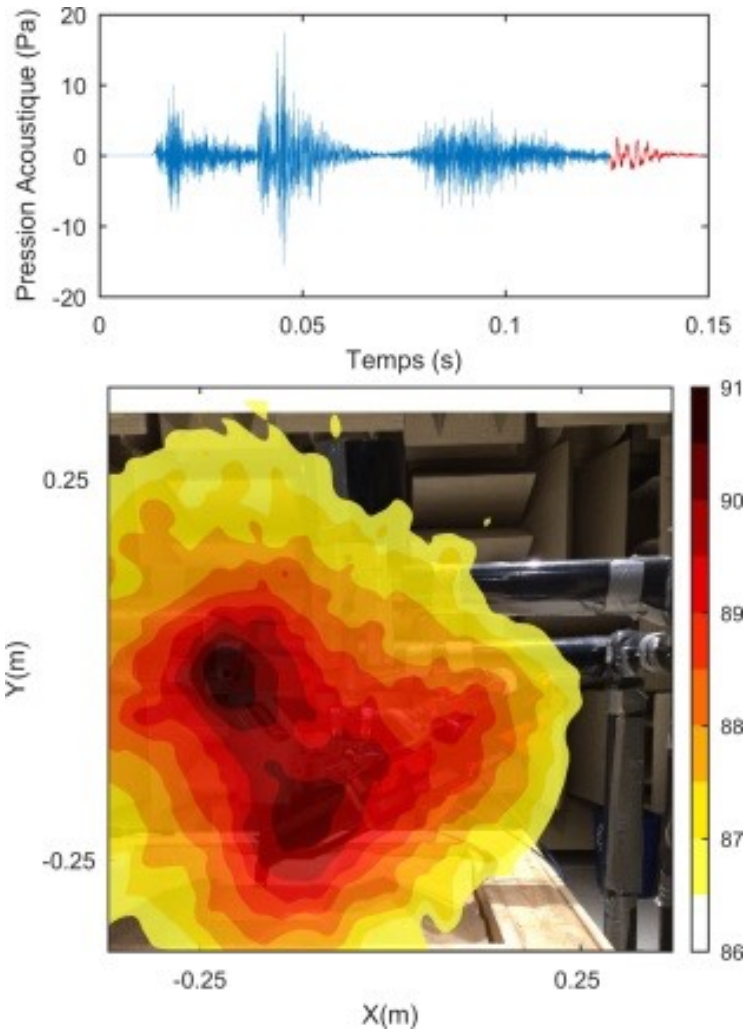


Impact/corps cloueuse

8.2 Imagerie acoustique (pneumatique)

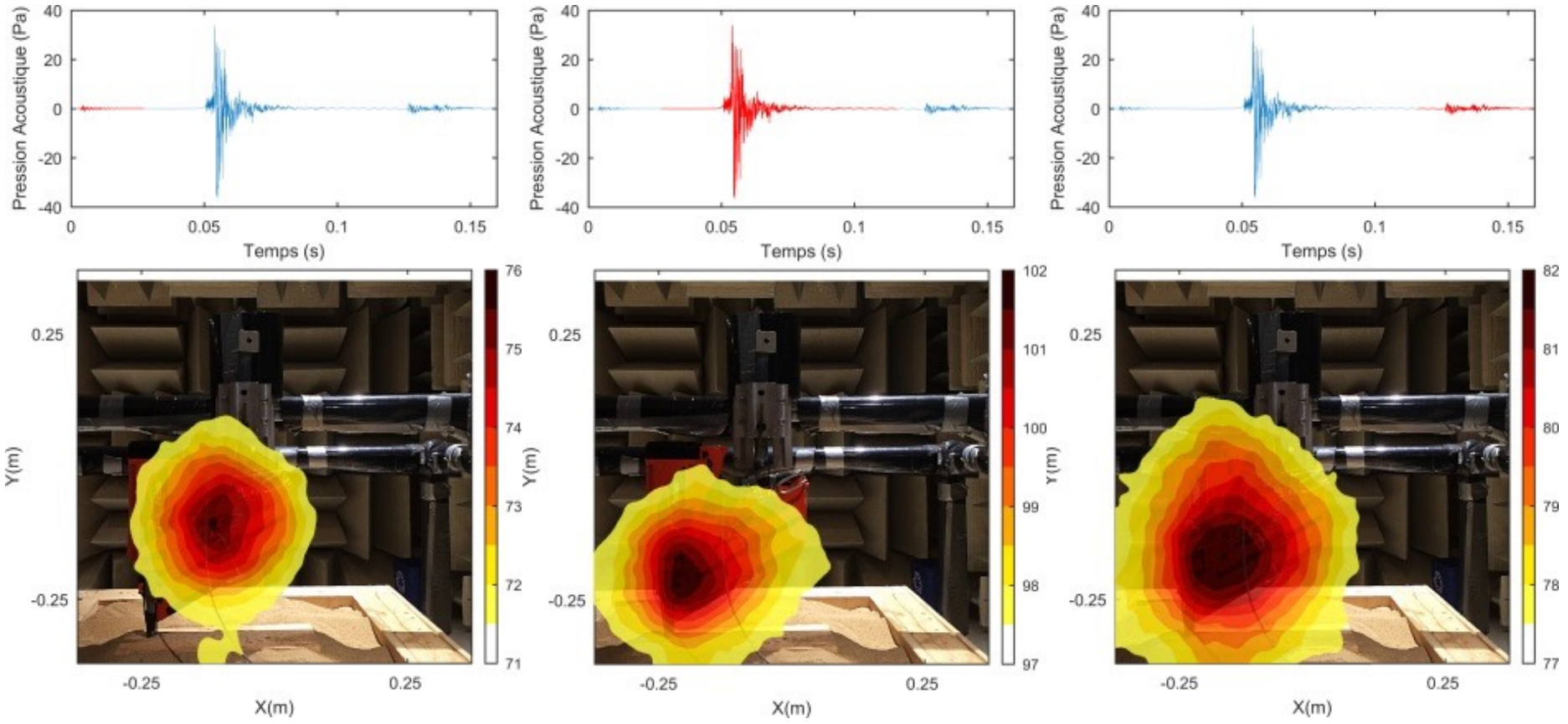


Échappement d'air



Piston remonte

8.2 Imagerie acoustique (gaz)

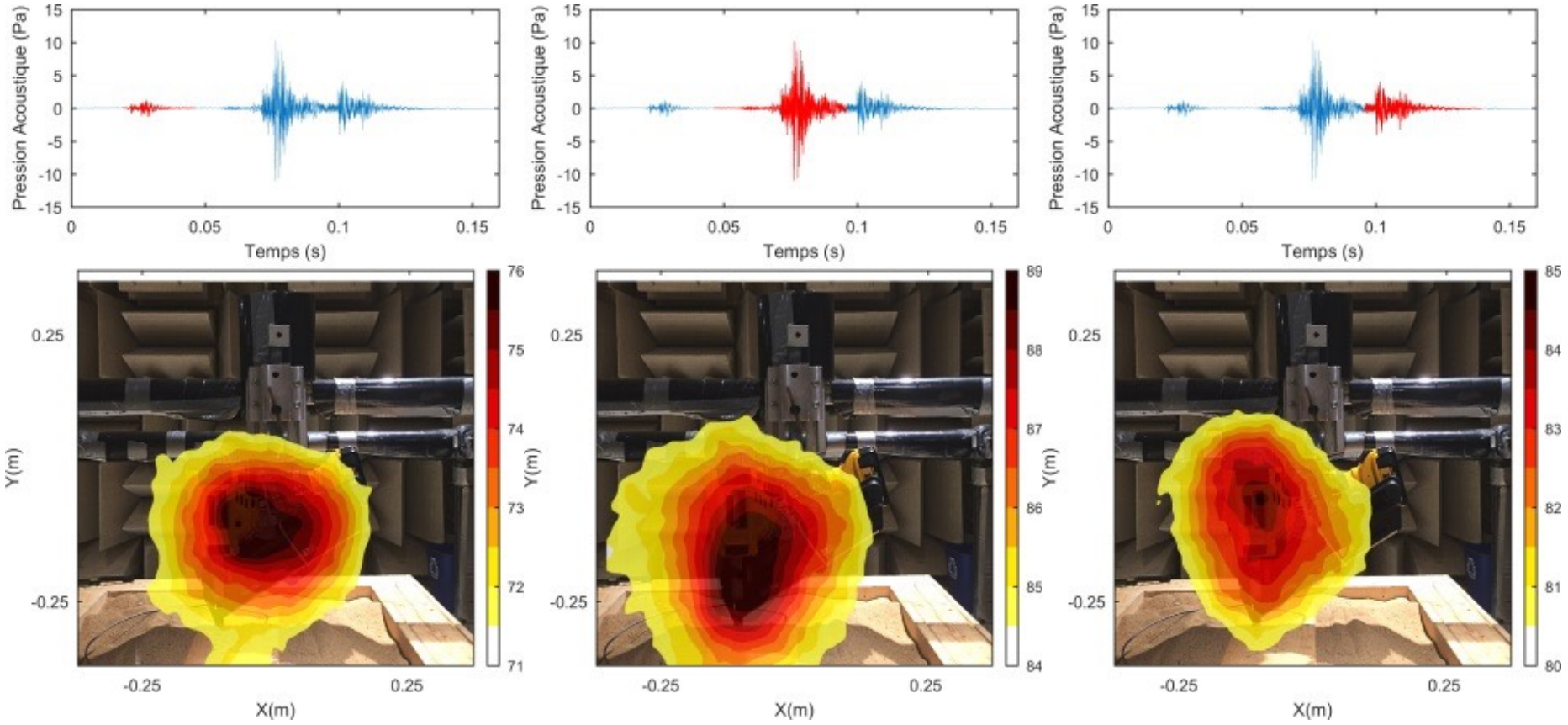


Activation de la gâchette

Impact/ corps de la cloueuse

Piston remonte

8.2 Imagerie acoustique (électrique)

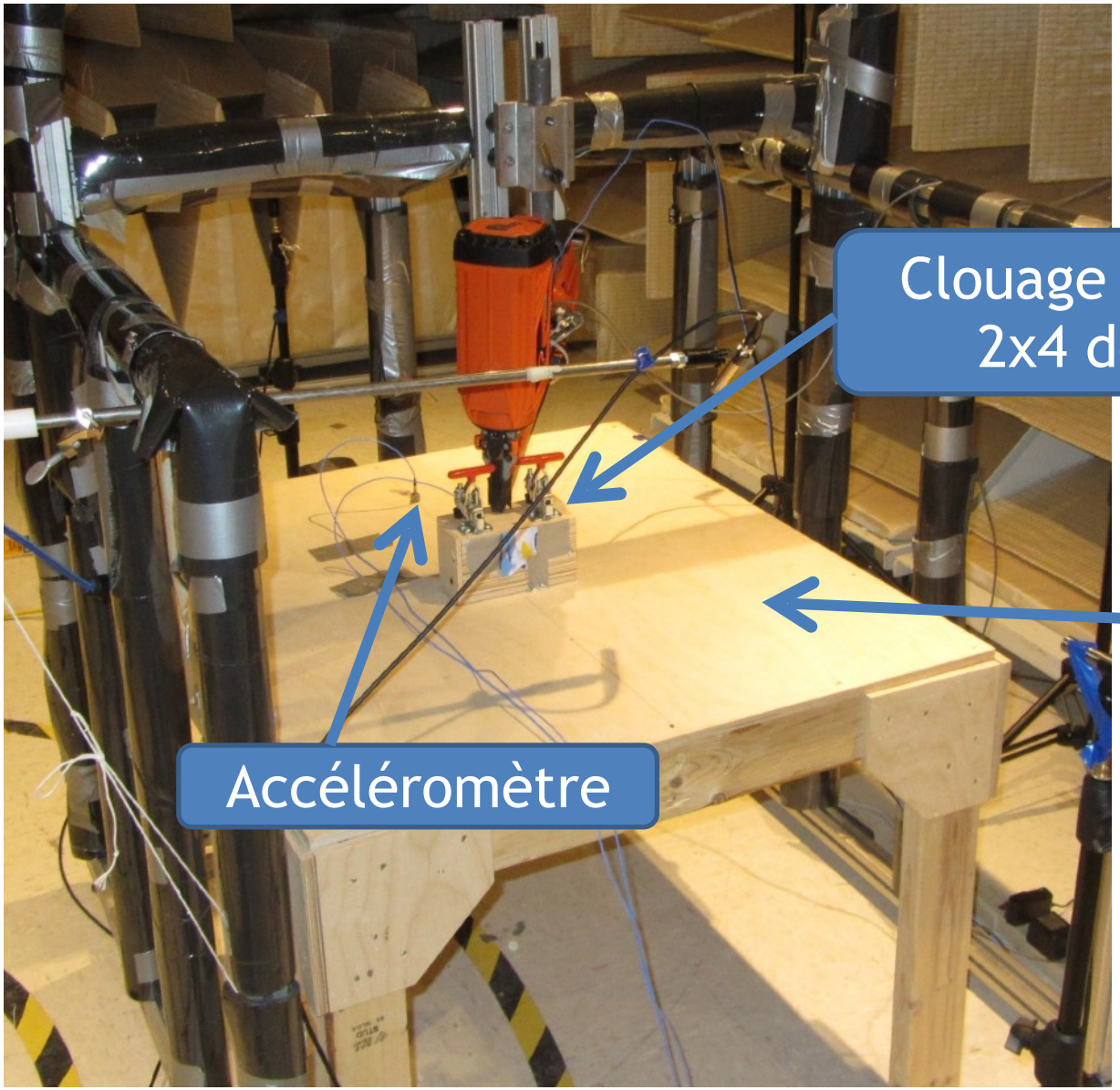


Activation de la gâchette

Impact/ corps de la cloueuse

Retour du bélier

8.3 Banc rayonnant



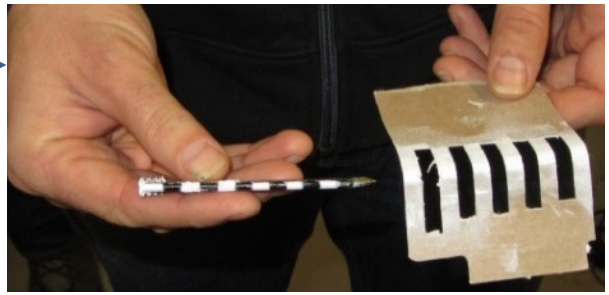
8.3 Banc rayonnant versus non-rayonnant

	Accélération $a_{hw,3s}$ (m/s²)		
Cloueuse	Banc rayonnant	Bac de sable	Différence
EB1	3,7	4,0	-0,3
PB3	3,8	3,8	0,0
GB1	3,9	4,3	-0,4
PR2	4,1	4,1	0,1
PB2	4,2	4,5	-0,4
PR1	4,8	4,8	0,0
PB1	5,6	5,7	0,0

	Puissance acoustique (dBA)			
Cloueuse	Banc rayonnant	Bac de sable	Différence	Rayonnement de la table
EB1	104,9	95,5	9,3	104,3
PR2	105,9	100,9	5,0	104,2
PB2	106,6	101,8	4,7	104,8
PB1	106,7	104,1	2,6	103,2
PR1	107,0	104,0	3,1	104,1
PB3	108,5	102,2	6,3	107,3
GB1	109,4	106,5	2,9	106,3

8.4 Caméra haute vitesse

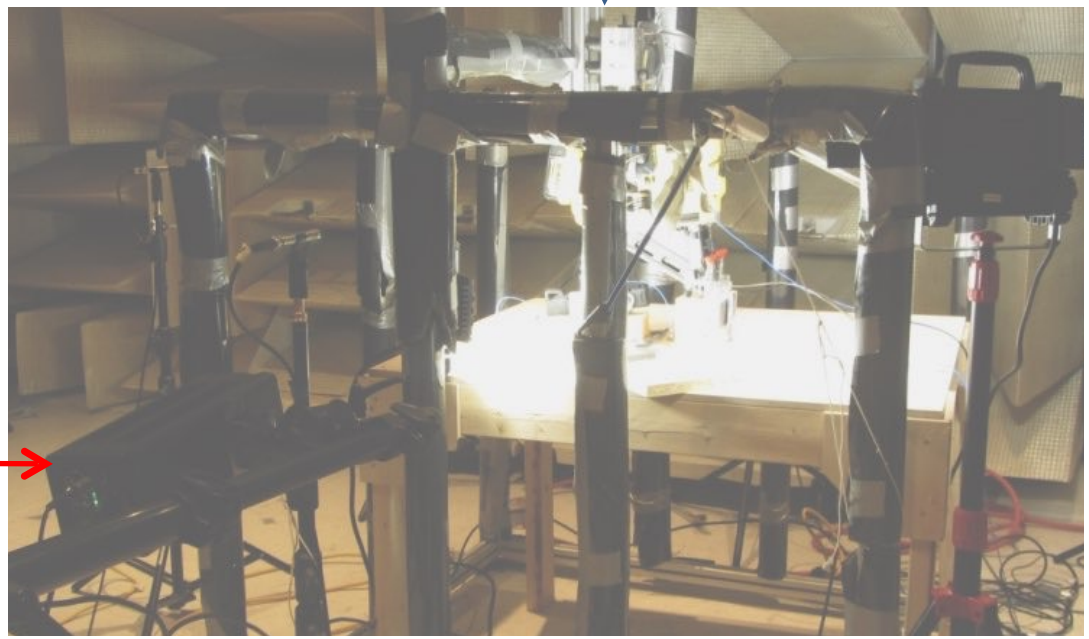
8.4.1 Mesure de la vitesse d'enfoncement du clou (6000 images/s)



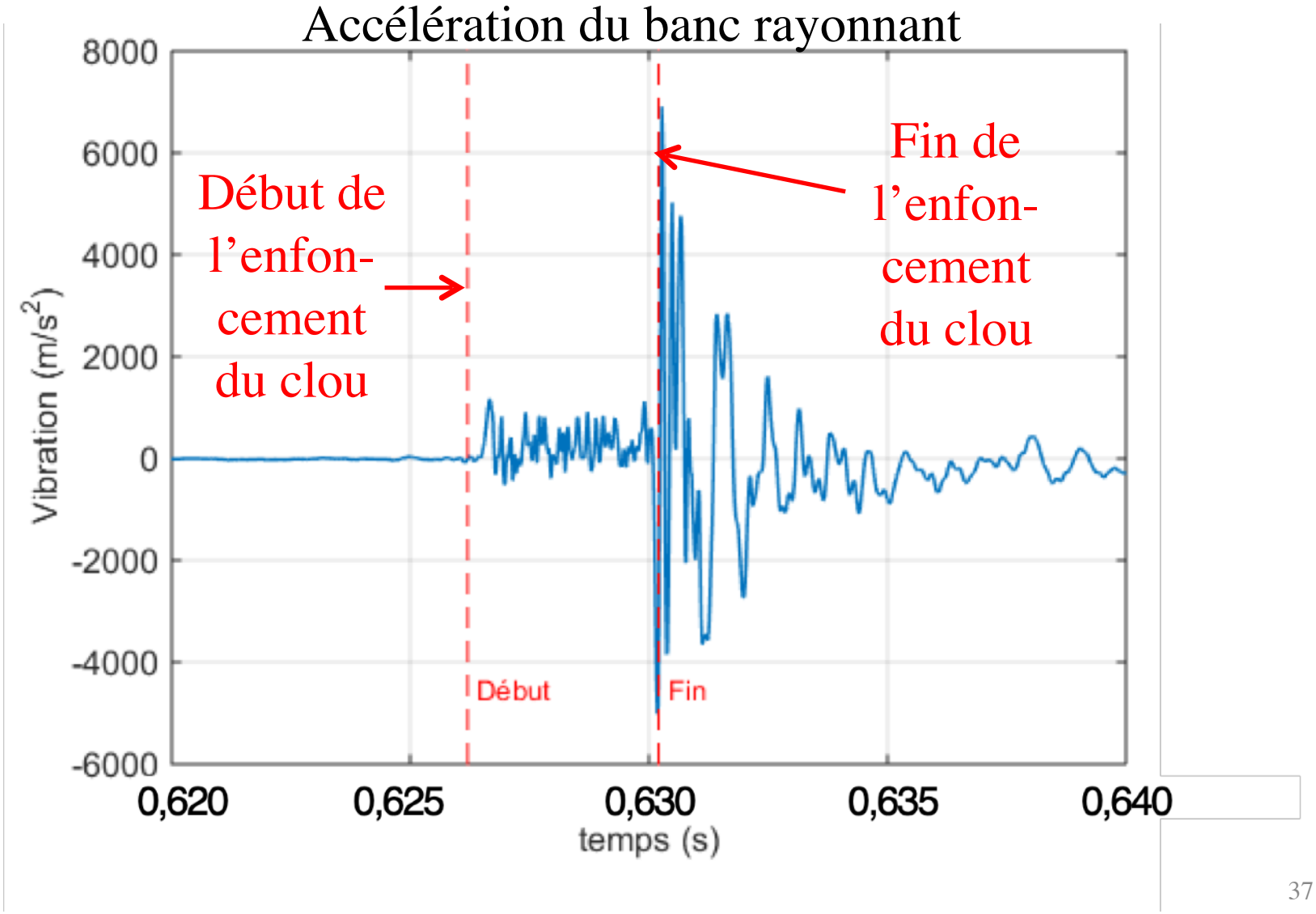
8.4.2 Synchronisation avec signaux vibratoires et acoustique

8.4.3 Mouvement d'ensemble de la cloueuse (1000 images/s)

Caméra haute-vitesse



8.4.2 Synchronisation avec signaux vibratoires et acoustique



8.4.2 Synchronisation avec signaux vibratoires et acoustique

Deux cloueuse testées (EB1, PB3)

- Vitesse d'enfoncement constante (pas de ralentissement du bélier lorsque le clou s'enfonce: force plus que suffisante)
- Même temps d'enfoncement pour les 2 cloueuses (4 ms)
- Vibration importante générée lorsque le bélier atteint le banc rayonnant (fin de l'enfoncement du clou)

9. Pistes de solution

Source	Solution
• Bruit d'échappement	• Concevoir un silencieux
• Rayonnement du corps de la cloueuse	• Traiter le corps (amortissement, découplage, barrière, etc.)
• Choc du bélier/piston en fins de course (basse et haute)	• Gestion du ralentissement de fin de course / dissipation de l'énergie (optimisation des butées amortissantes)
• Quantité d'énergie constante	• Optimiser la quantité d'énergie en fonction de la tâche à accomplir

10. Conclusion/Retombées

- Mesures laboratoires (BMN):
  - Assez représentatives des mesures terrains même si différences (surtout pour le bruit)→ rayonnement de la pièce à inclure → travaux futurs
  - Il est possible de choisir des outils moins bruyant/moins vibrant
- Banc sans opérateur (DSO):
  - Faisabilité démontrée: résultats plus précis avec moins d'essais (10 vs 150 clous)
  - Mais difficultés rencontrées dans la conception du DSO → nécessité de passer à un modèle 2D du système main-bras → travaux futurs
- Masquage/Antennerie/Caméra haute-vitesse synchronisée avec mesures B/V → ont permis d'identifier les principales sources de bruit: corps de la cloueuse, échappement, pièce travaillée
- Diffusion de ces résultats: 3 communications dans des congrès, 1 article de revue accepté avec correction mineures, 2 articles de revue en préparation, 1 rapport IRSST

11. Travaux futurs

- Améliorer le DSO
  - Système « main-bras » plus représentatif de l'humain (puissance acoustique et accélération)
  - Déclencheur automatique amélioré
  - Moins d'ajustements nécessaires pour bon positionnement (améliorer la reproductibilité des mesures)
- Remplacer banc de sable par une pièce travaillée dont le rayonnement peut être:
  - Minimal (idem BMN mais sans inconvénients du sable)
  - Maximal (excitation de la pièce travaillée pris en compte)

Nouvelle méthode et norme de mesure bruit et vibrations

Campagnes de mesure systématique pour classement des cloueuses existantes

Chercheurs et fabricants pourront plus facilement identifier les sources de B/V et proposer des solutions