



HAL
open science

Auto-oscillations des instruments de musique : synthèse sonore par modèle physique et contrôle

Hugo Audas, Paul Estève, Charlotte Fernandez, Pharoah Jardin, Victor Piton, Benjamin Quiédeville, Thomas Hélie, Christophe Vergez

► **To cite this version:**

Hugo Audas, Paul Estève, Charlotte Fernandez, Pharoah Jardin, Victor Piton, et al.. Auto-oscillations des instruments de musique : synthèse sonore par modèle physique et contrôle. Journées Jeunes Chercheur×se×s en Audition, Acoustique musicale et Signal audio, Mar 2024, Marseille, France. . hal-04760500

HAL Id: hal-04760500

<https://hal.science/hal-04760500v1>

Submitted on 30 Oct 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Auto-oscillations des instruments de musique : synthèse sonore par modèle physique et contrôle

H. Audas¹, P. Estève¹, C. Fernandez¹, P. Jardin¹, V. Piton¹, B. Quiédeville¹,
Encadrants : T. Hélie², C. Vergez³

¹Master ATIAM, ²STMS UMR9912, IRCAM-CNRS-Sorbonne Université-Ministère de la Culture, ³Aix Marseille Univ, CNRS, Centrale Marseille, LMA UMR7031

Objectif – modélisation et contrôle

- Comprendre le fonctionnement des instruments auto-oscillants
- Contrôle d'un modèle temps réel : caractériser et cartographier le son produit pour faciliter l'utilisation par le musicien, illustration avec un modèle de clarinette

Résonateur : Approche modale

Hypothèses :

- Développement limité du débit ($p \approx 0$) : $u = F_0 + Ap + Bp^2 + Cp^3$
- $Z(\omega) = \sum_{n=1}^N \frac{P_n(\omega)}{U(\omega)} = j\omega \sum_{n=1}^N \frac{F_n}{\omega_n^2 - \omega^2 + j\frac{\omega}{Q_n}}$

⇒ Système d'équations couplées de Van der Pol résolu numériquement (Runge-Kutta 4)

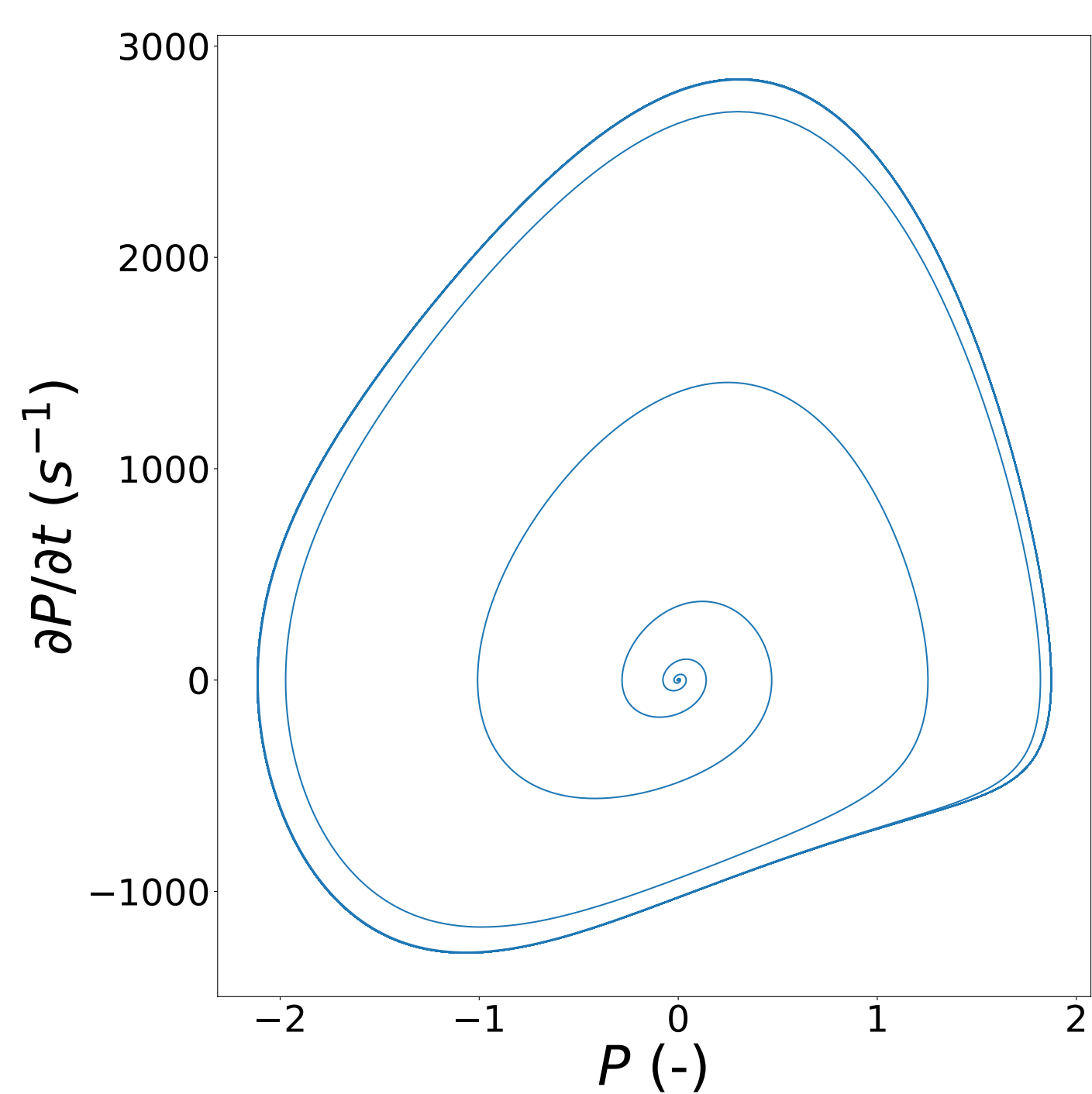


Fig. 1: $N = 1$ mode

Evolution du flux ($P_1, \frac{\partial P_1}{\partial t}$) dans l'espace des phases durant l'attaque ($t < 0.3s$) pour N modes.

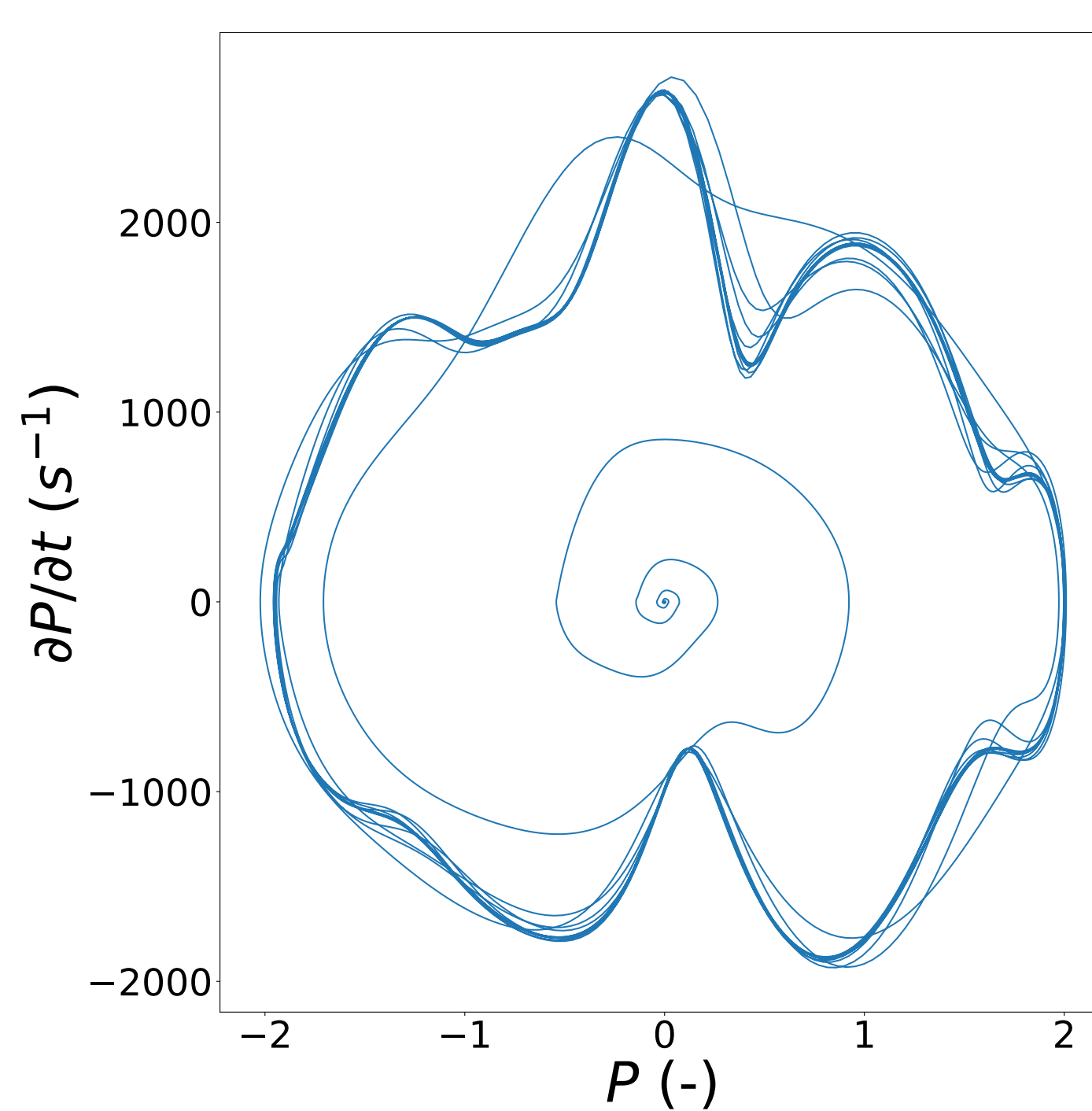


Fig. 2: $N = 4$ modes

Modèle physique

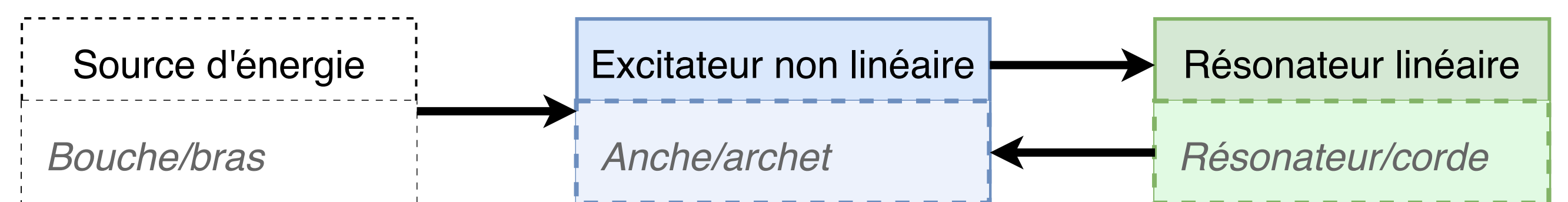


Fig. 3: Fonctionnement d'un instrument auto-oscillant

Les auto-oscillations sont le résultat d'un couplage entre un **excitateur non linéaire** et un **résonateur linéaire**. Les grandeurs physiques du modèle (pression p , débit u et paramètres de jeu γ et ζ) sont adimensionnées.

Excitateur

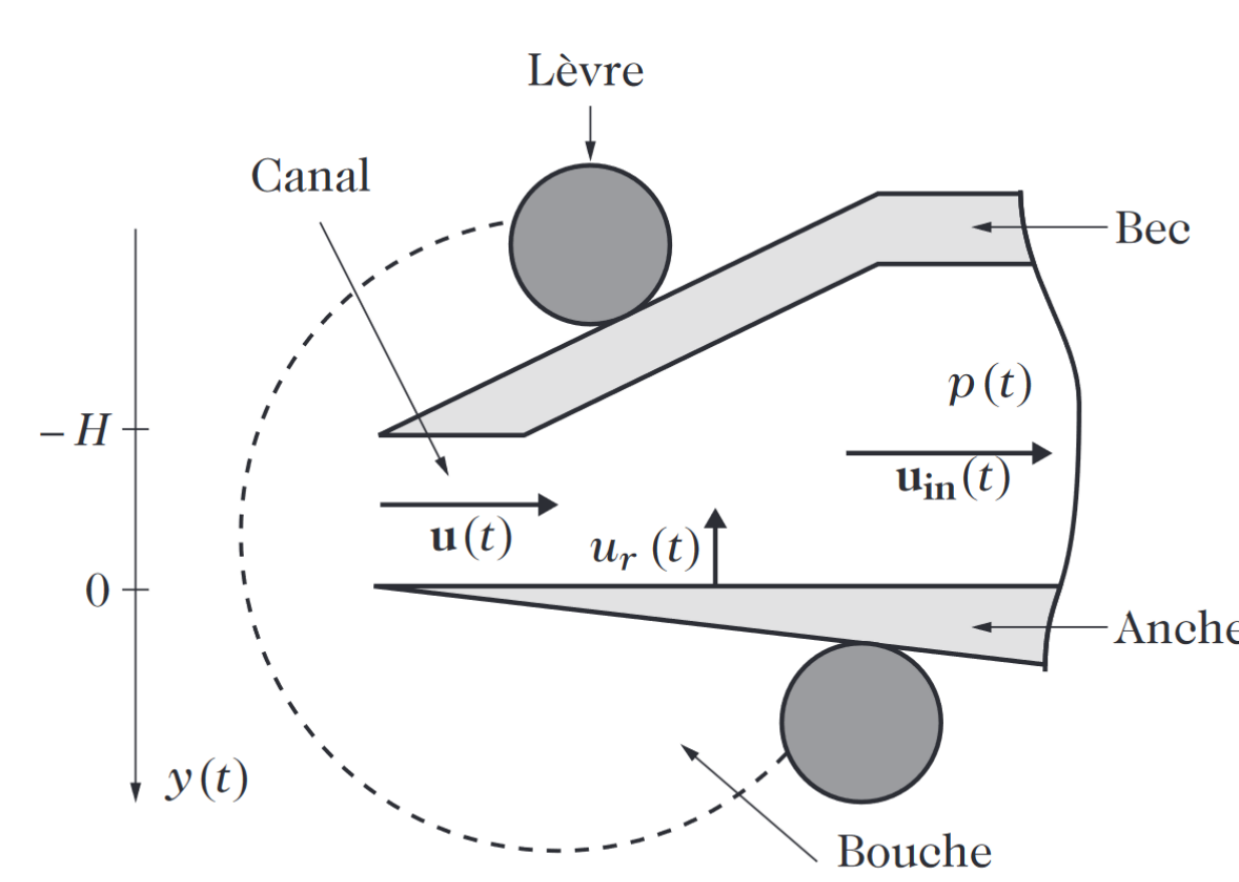


Fig. 4: Schéma du fonctionnement d'un instrument à anche simple [1]

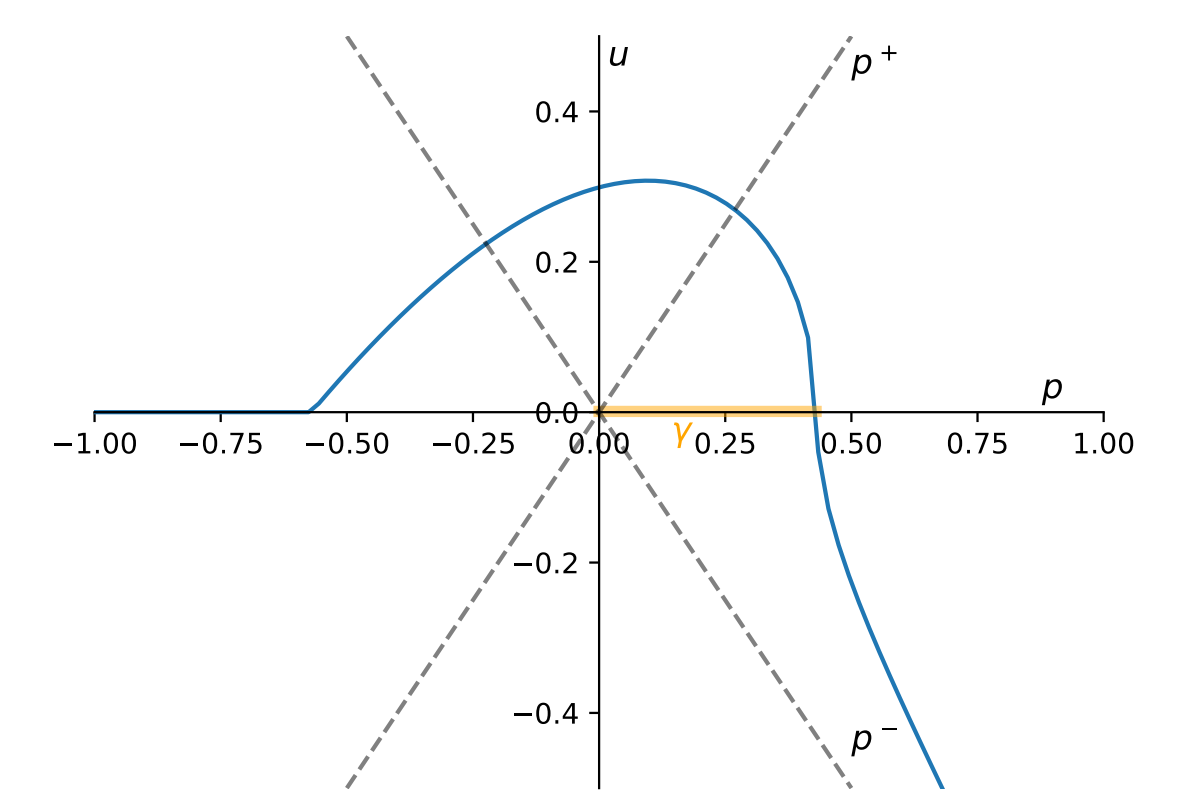


Fig. 5: Fonction non linéaire de l'excitateur ($\gamma = 0.43, \zeta = 0.8$)

$\gamma \propto p_m$: pression dans la bouche du musicien, $\zeta \propto \sqrt{H}$: ouverture de l'anche

Résonateur : Approche guide d'ondes

Décomposition de la pression à l'entrée du résonateur en onde aller & onde retour : $p(t) = p^+(t) + p^-(t)$
Non-linéarité : $p^+(t) = G(p^-(t))$ Réflexion : $p^-(t) = (p^+ * r)(t)$ avec ici $r(t) = -\lambda\delta(t - T)$ et $0 < \lambda \leq 1$

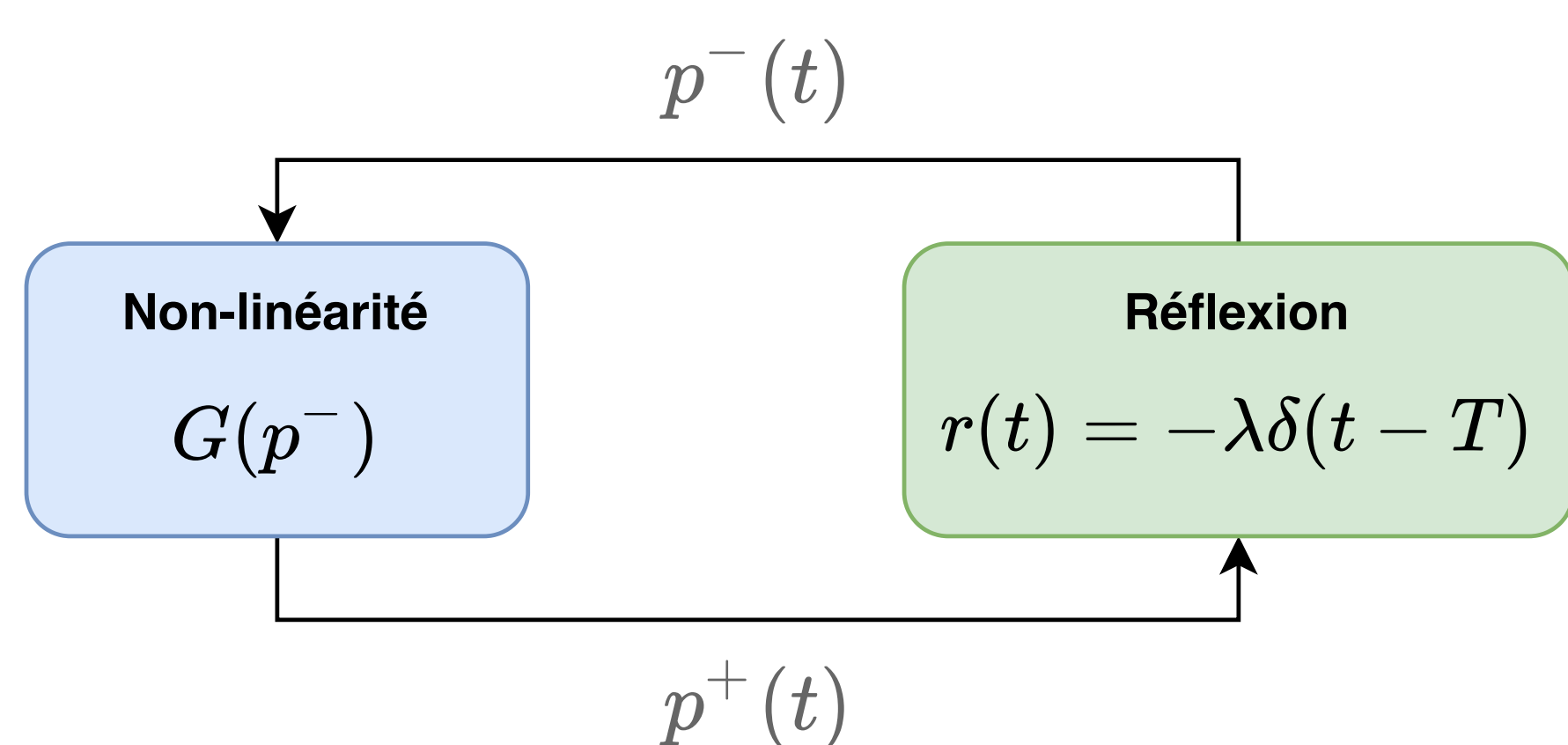


Fig. 6: Approche guide d'onde : couplage excitateur - résonateur

Modèle de Raman

Réflexions sans dispersion et à pertes constantes en fréquences :

- Régimes intéressants : doublements de période successifs et chaos
- Timbre non réaliste ⇒ adaptation de la fonction de réflexion nécessaire

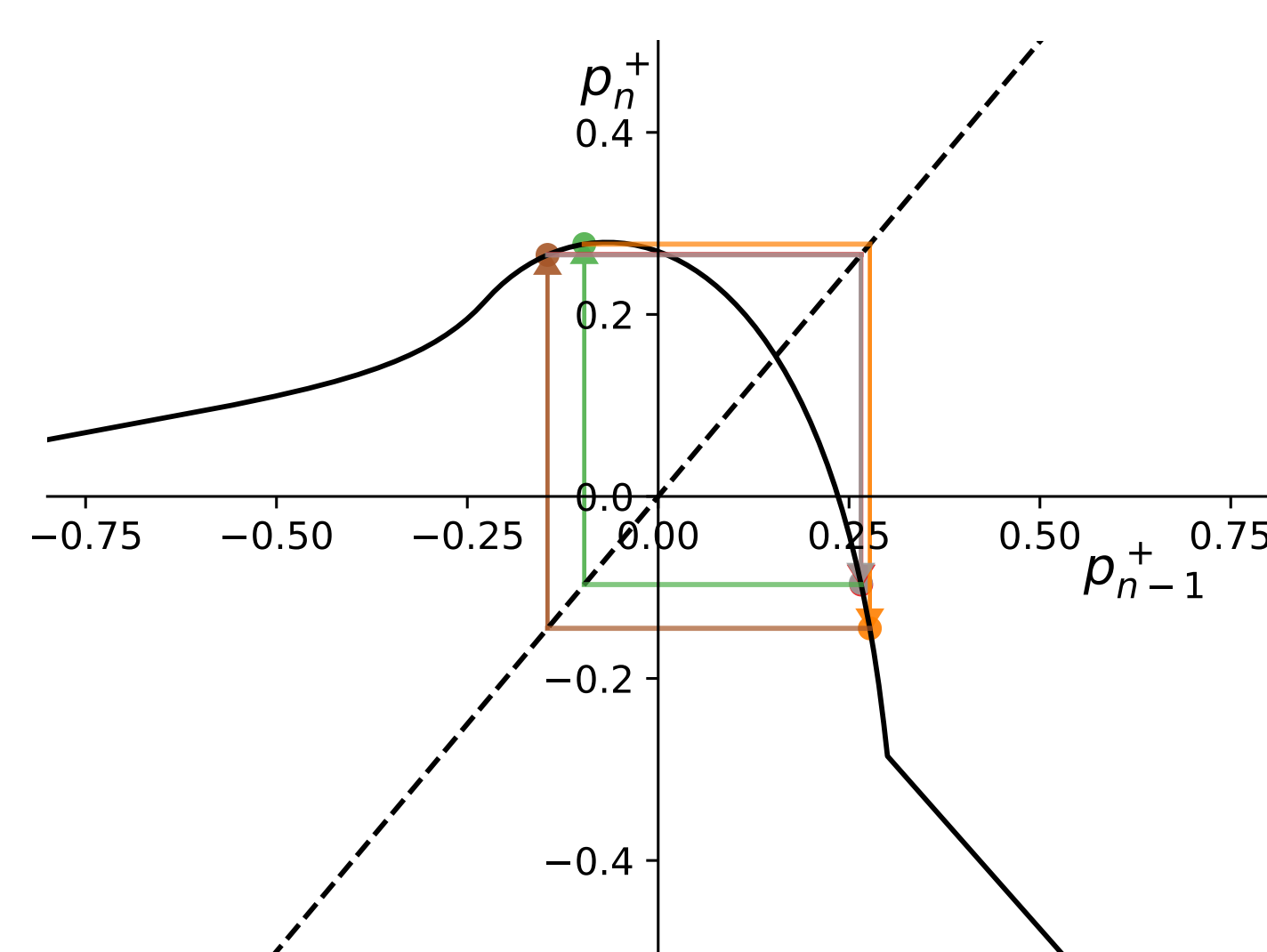


Fig. 7: Carte itérée : doublement de période [4]

Cartographies du son produit

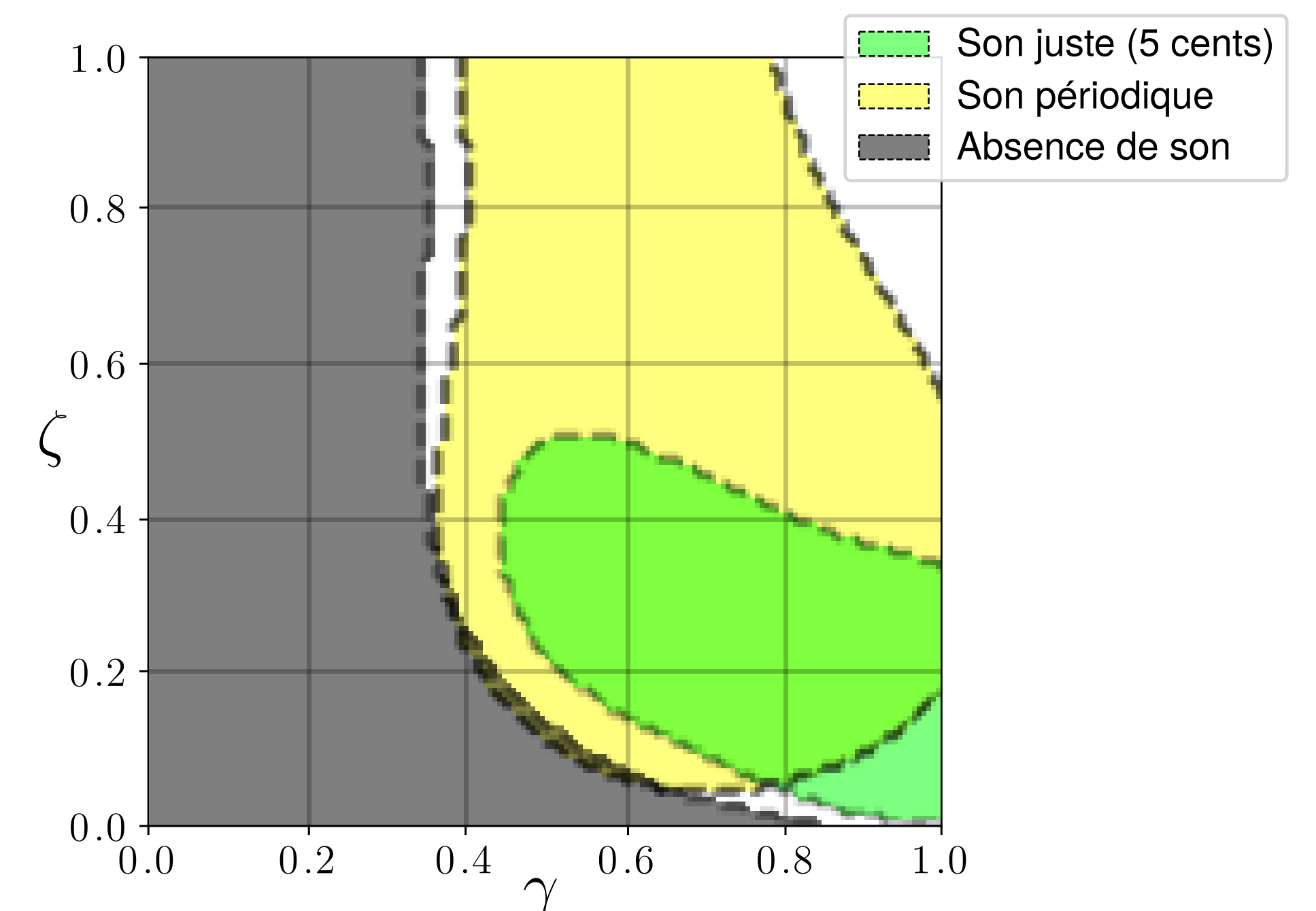


Fig. 8: Cartographies : présence de son, justesse et quasi-périodicité en fonction de γ et ζ (SVM sur 25 échantillons initiaux puis ajout de 30 échantillons adaptatifs)

- La présence de son correspond à la littérature [3].
- La zone de justesse correspond partiellement à ce qui est obtenu dans la littérature pour un mode.
- Définition d'une zone de quasi-périodicité pour la clarinette comme réalisé pour le saxophone [2].

Références

- [1] Antoine Chaigne and Jean Kergomard. *Acoustique des instruments de musique*. Belin, 2008.
- [2] J-B Doc, Ch Vergez, and S Missoum. "A minimal model of a single-reed instrument producing quasi-periodic sounds". In: *Acta Acustica united with Acustica* 100.3 (2014), pp. 543–554.
- [3] Samy Missoum, Christophe Vergez, and Jean-Baptiste Doc. "Explicit mapping of acoustic regimes for wind instruments". en. In: *Journal of Sound and Vibration* 333.20 (Sept. 2014), pp. 5018–5029.
- [4] P.-A. Taillard, J. Kergomard, and F. Laloë. "Iterated Maps for Clarinet-like Systems". In: *Nonlinear Dynamics* 62.1-2 (Oct. 2010), pp. 253–271.

Perspectives

- Améliorer le contrôle en prenant en compte les cartographies
- Étendre aux cordes frottées et autres instruments