

# Journées d'Informatique Musicale

8 mai 2015 | Montréal, QC, Canada

JIM  
2015

## Quel ajustement de hauteur mélodique pour les instruments de musique numériques ?

Olivier Perrotin

Christophe d'Alessandro

LIMSI - CNRS

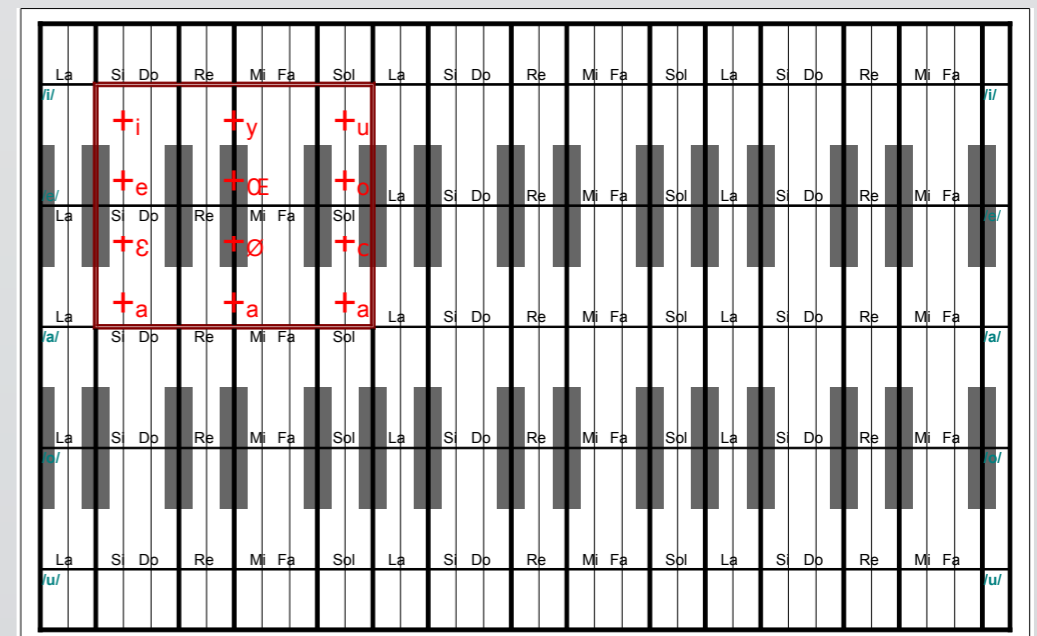
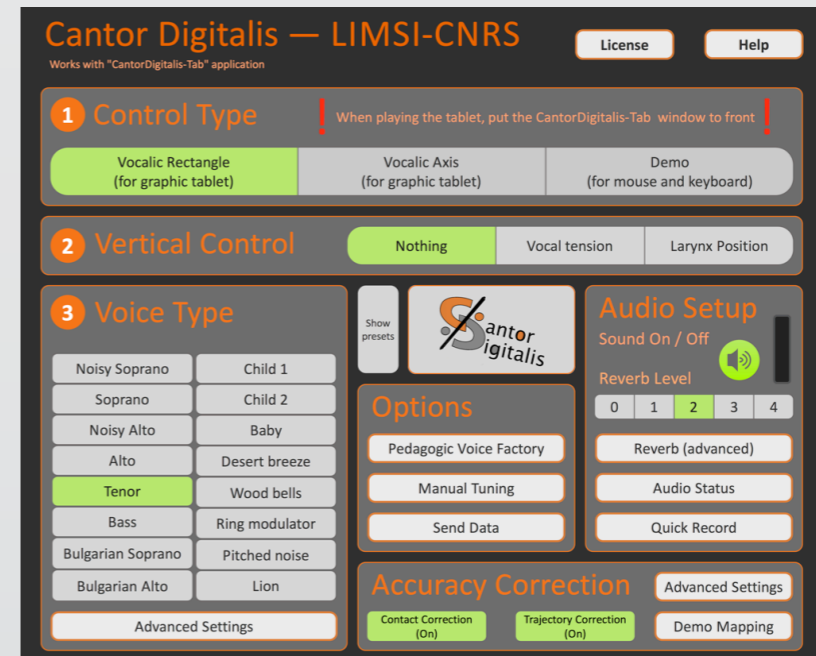


# Cantor Digitalis

## Instrument de synthèse vocale performative

<https://cantordigitalis.limsi.fr>

- Synthétiseur vocal
  - Modèle source - filtre
  - Temps réel
- Contrôlé par une tablette graphique
  - Effort vocal : pression du stylet
  - Hauteur mélodique : position horizontale du stylet



# Contraintes musicales

---

- Expressivité mélodique vocale
  - Portamento
  - Glissando
  - Vibrato
- Justesse mélodique
  - Contrôle de la hauteur sur une position continue

**COMMENT JOUER A LA FOIS JUSTE ET AVEC EXPRESSIVITE ?**

# Contraintes musicales

---

- Expressivité mélodique vocale
  - Portamento
  - Glissando
  - Vibrato
- Justesse mélodique
  - Contrôle de la hauteur sur une position continue

## COMMENT JOUER A LA FOIS JUSTE ET AVEC EXPRESSIVITE ?

*Musicien* : “Tu verras après 10 ans de pratique”

*Scientifique* : “Ça dépend de la relation entre la position du stylet et la hauteur”

# Continu vs Discret

---

- Contraintes mélodiques

|              | Discret     | Continu   |
|--------------|-------------|-----------|
| Justesse     | Intrinsèque | Difficile |
| Expressivité | Faible      | Elevée    |

- ▶ Améliore l'expressivité d'instruments discrets
- ▶ Améliore la justesse d'instruments continus

# Continu vs Discret

---

- Contraintes mélodiques

|              | Discret     | Continu   |
|--------------|-------------|-----------|
| Justesse     | Intrinsèque | Difficile |
| Expressivité | Faible      | Elevée    |

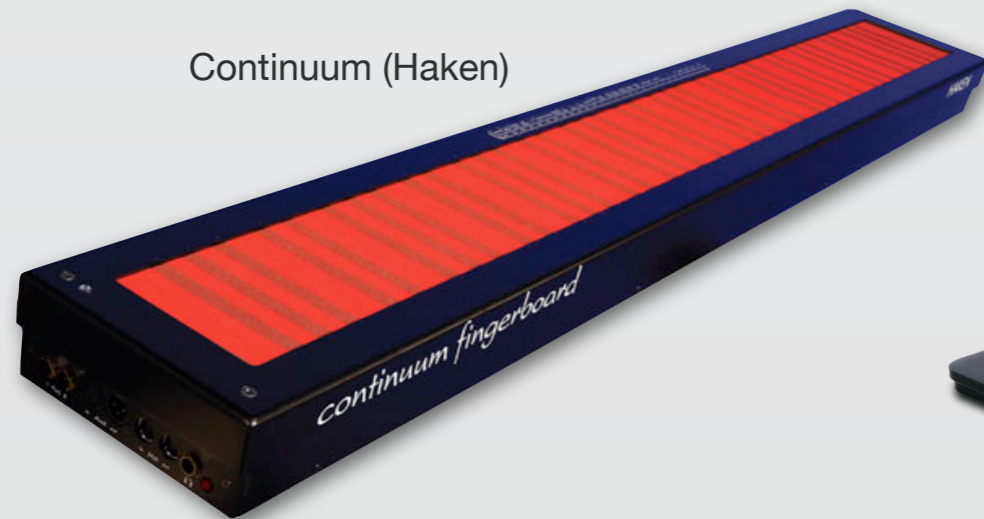
- ▶ Améliore l'expressivité d'instruments discrets
- ▶ Améliore la justesse d'instruments continus

**AJUSTEMENT DE HAUTEUR MÉLODIQUE**

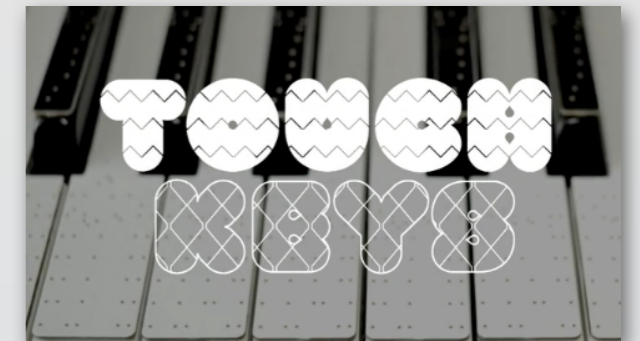
# Méthodes d'ajustement

---

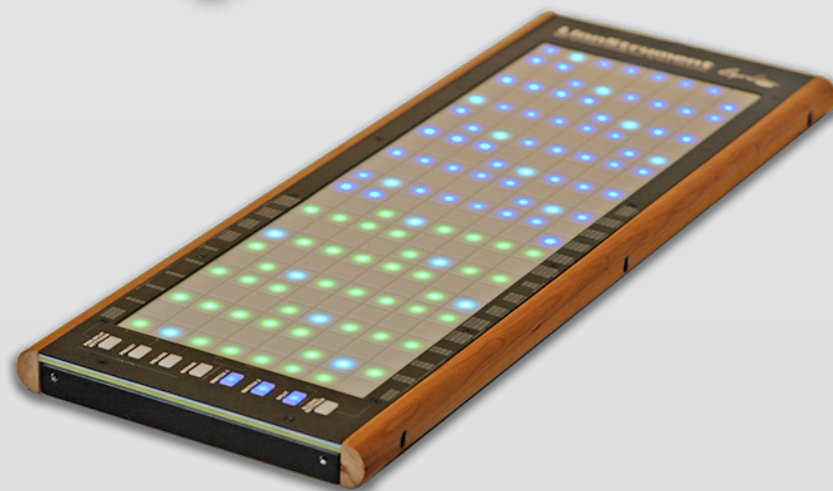
Continuum (Haken)



Seaboard (Roli)



Touch Keys (McPherson)



LinnStrument (Linn)



Morphwiz (Winsdom Music)



Garageband (Apple)



Cantor Digitalis

Découplage de la hauteur d'entrée (contrôleur) de la hauteur de sortie (synthétiseur)

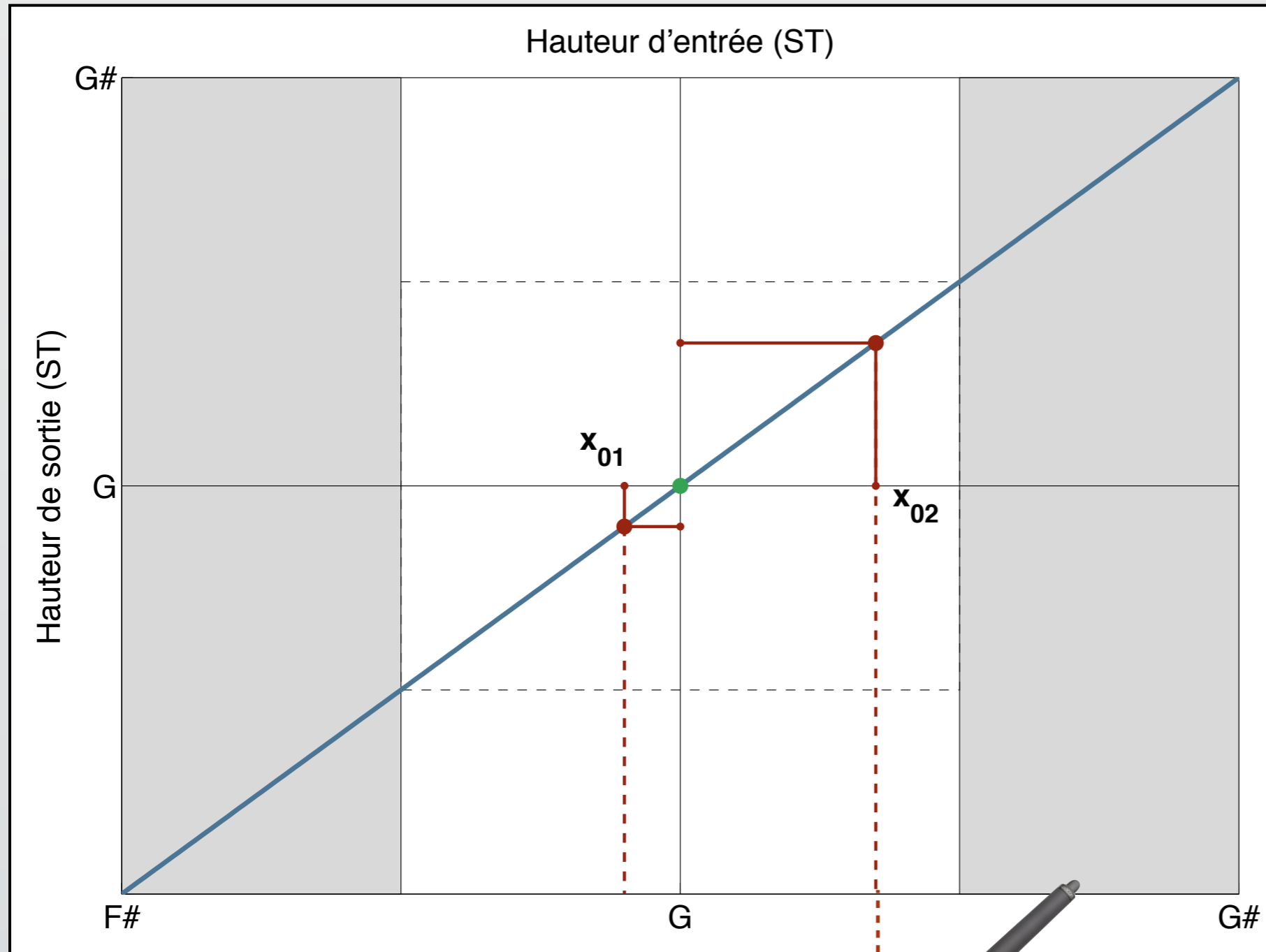
# Méthodes d'ajustement

---

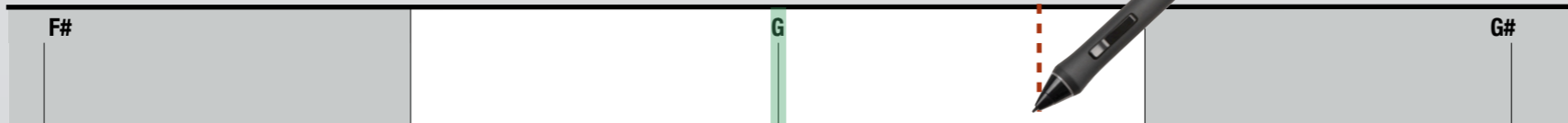
- Méthodes de convergence de la hauteur
  - ex : Continuum
  - ▶ Ajout régulier d'un petit pas de correction pour centrer la trajectoire sur la note cible
  - ▶ Ajustement systématique
- Méthodes de déformation dynamique de la hauteur
  - ex : Touch Keys, Cantor Digitalis
  - ▶ Fonction de correspondance non linéaire introduite entre hauteurs d'entrée et de sortie
  - ▶ Ajustement dynamique



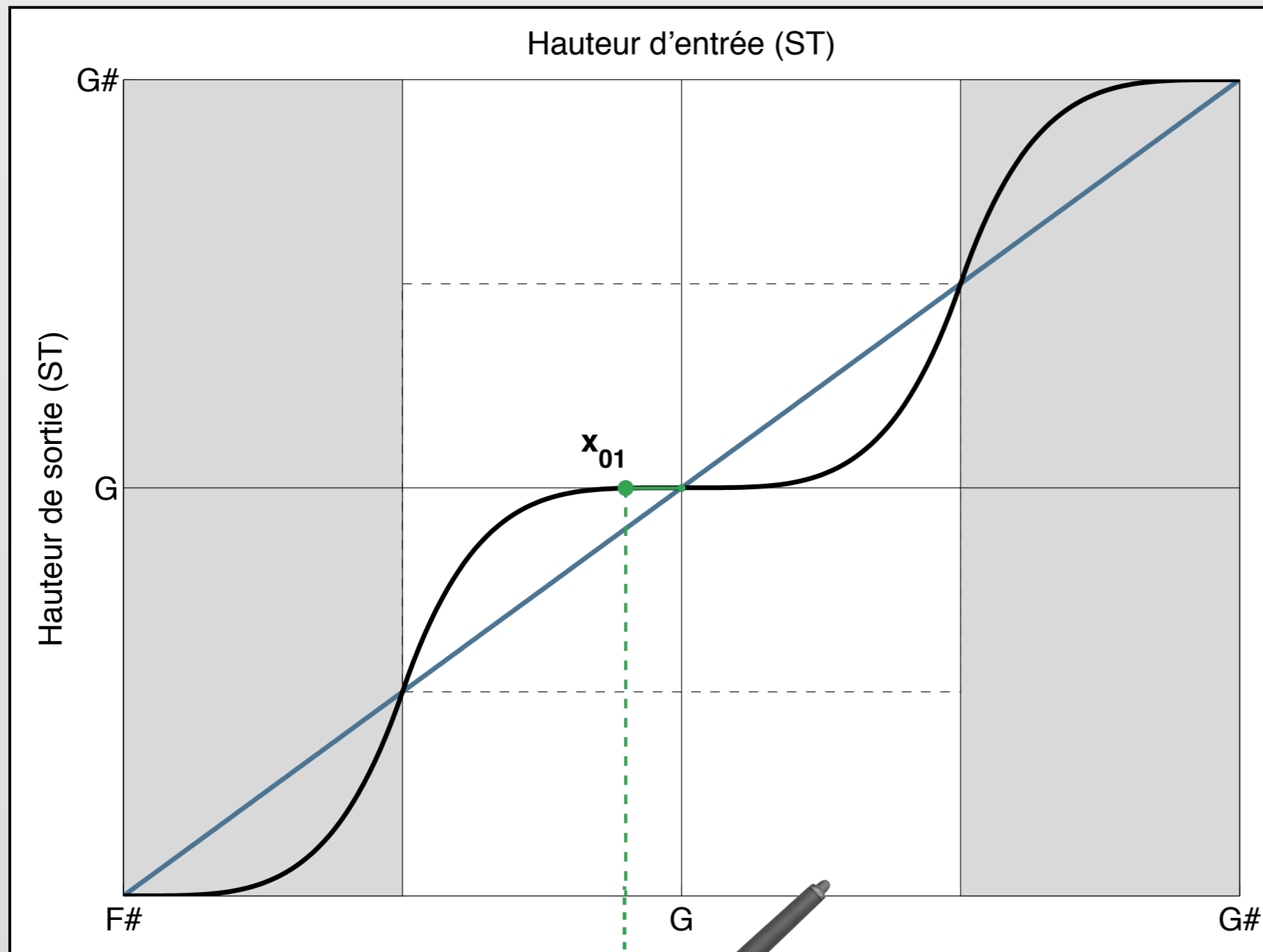
# Fonction linéaire



- Pas de correction
- Jeu juste à une position précise du stylet



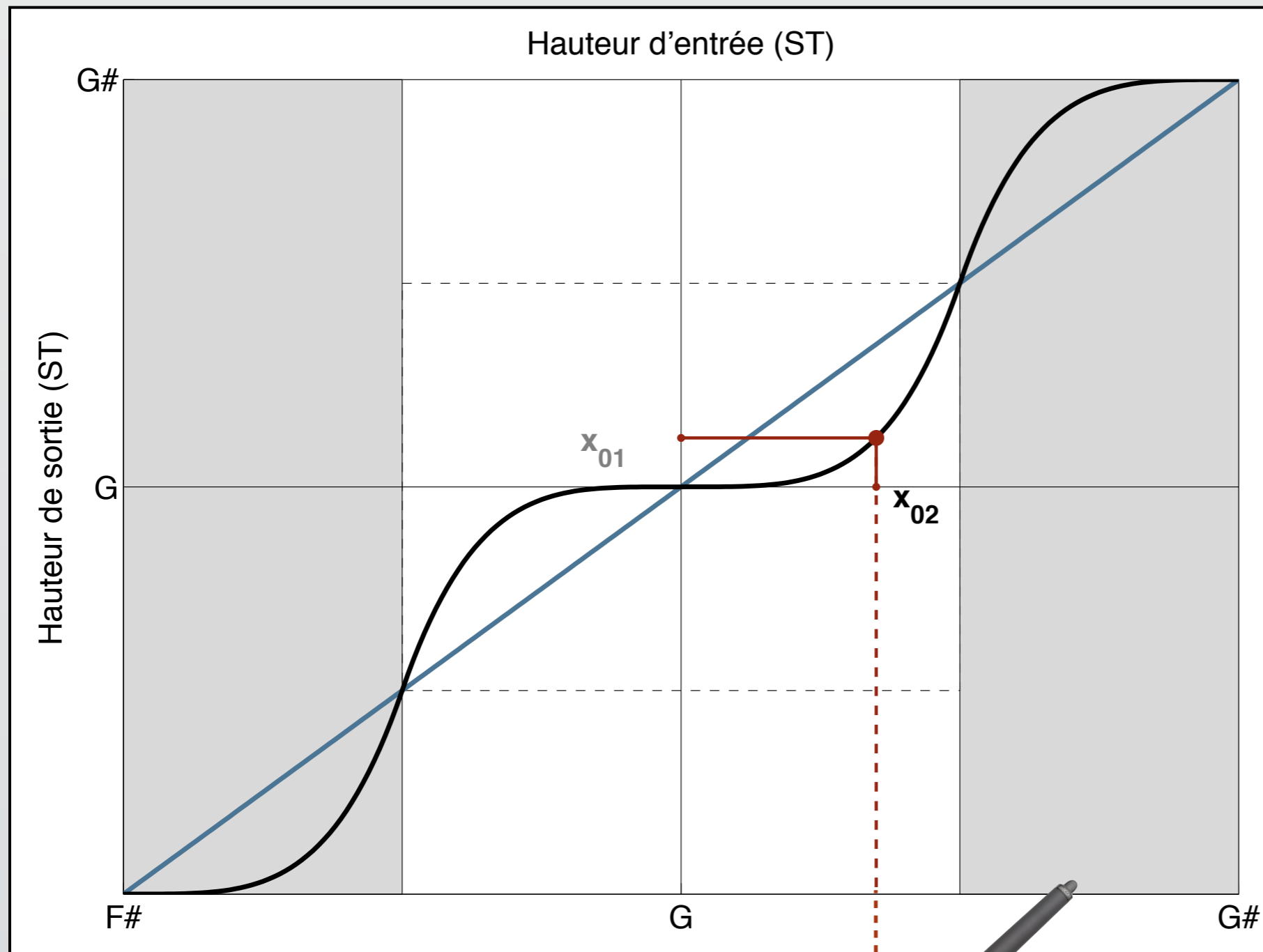
# Fonction notes étendues



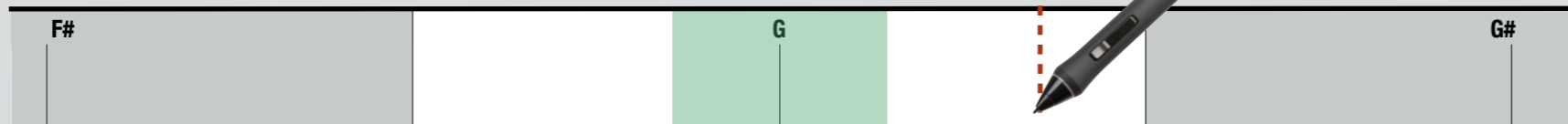
- Passe par (0,0)
- Continue entre les notes
- Contraction réglable autour de la cible



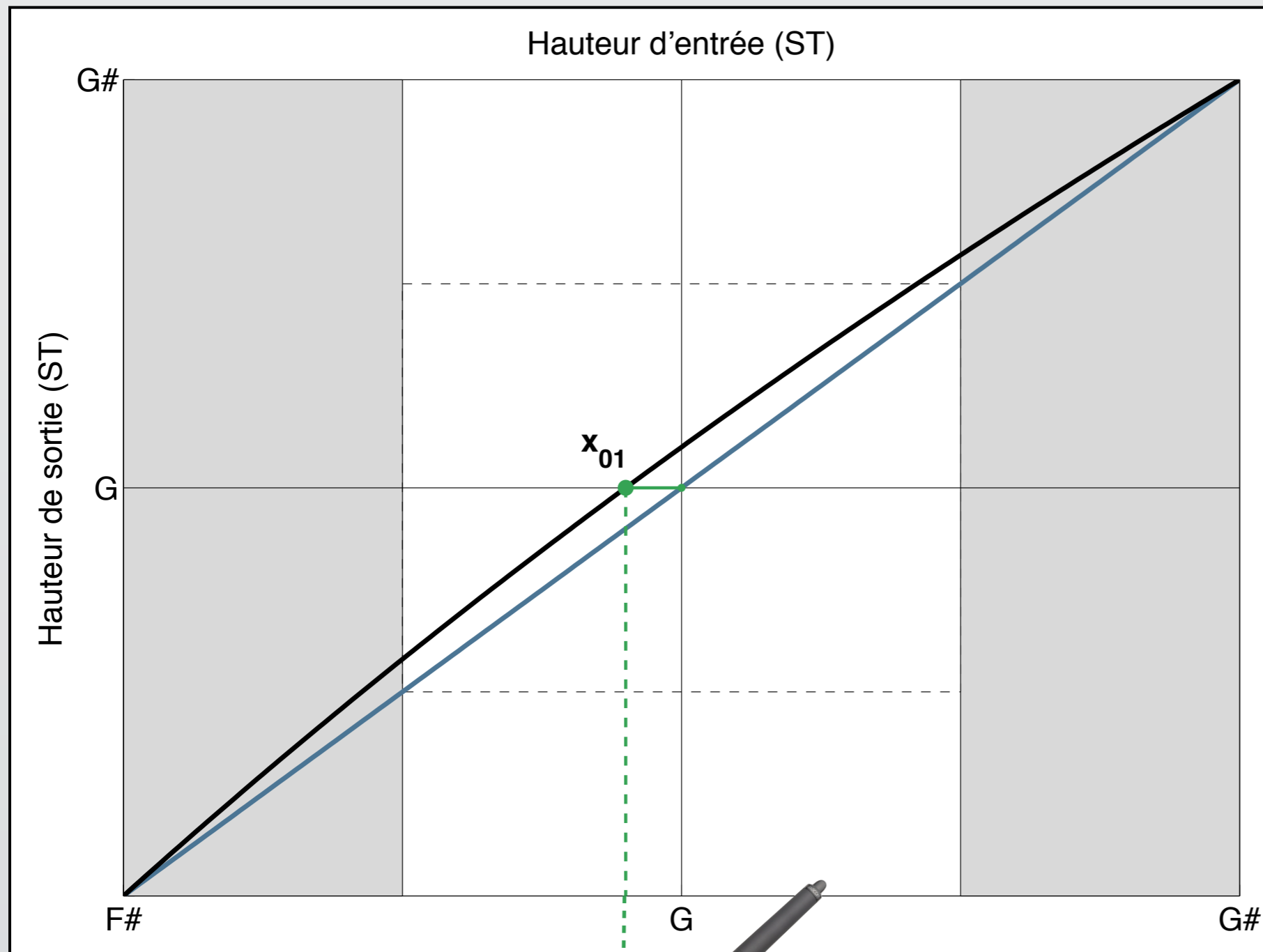
# Fonction notes étendues



- Passe par (0,0)
- Continue entre les notes
- Contraction réglable autour de la cible



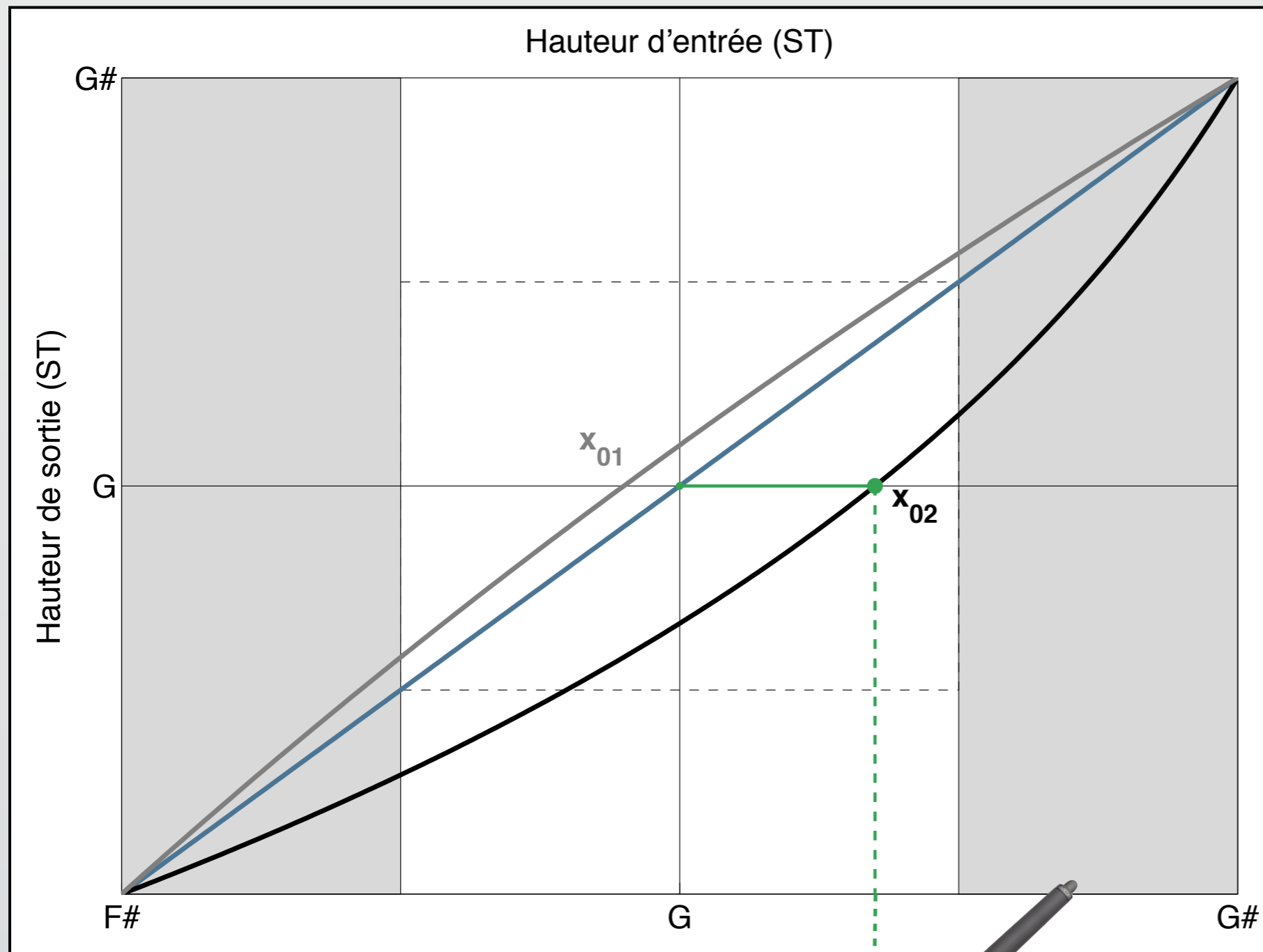
# Fonction élastique



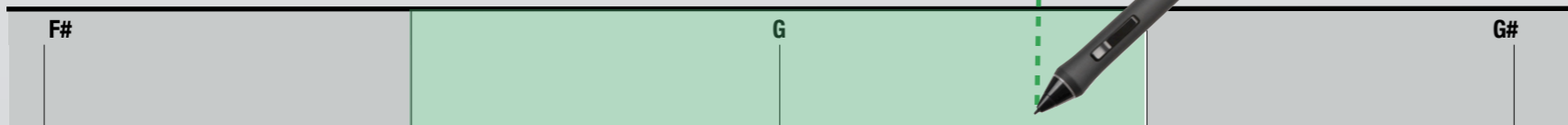
- Passe par le centre des notes précédentes et suivantes
- Passe par  $(x_0, 0)$
- ▶ Coefficient de courbure calculé à chaque déclenchement



# Fonction élastique

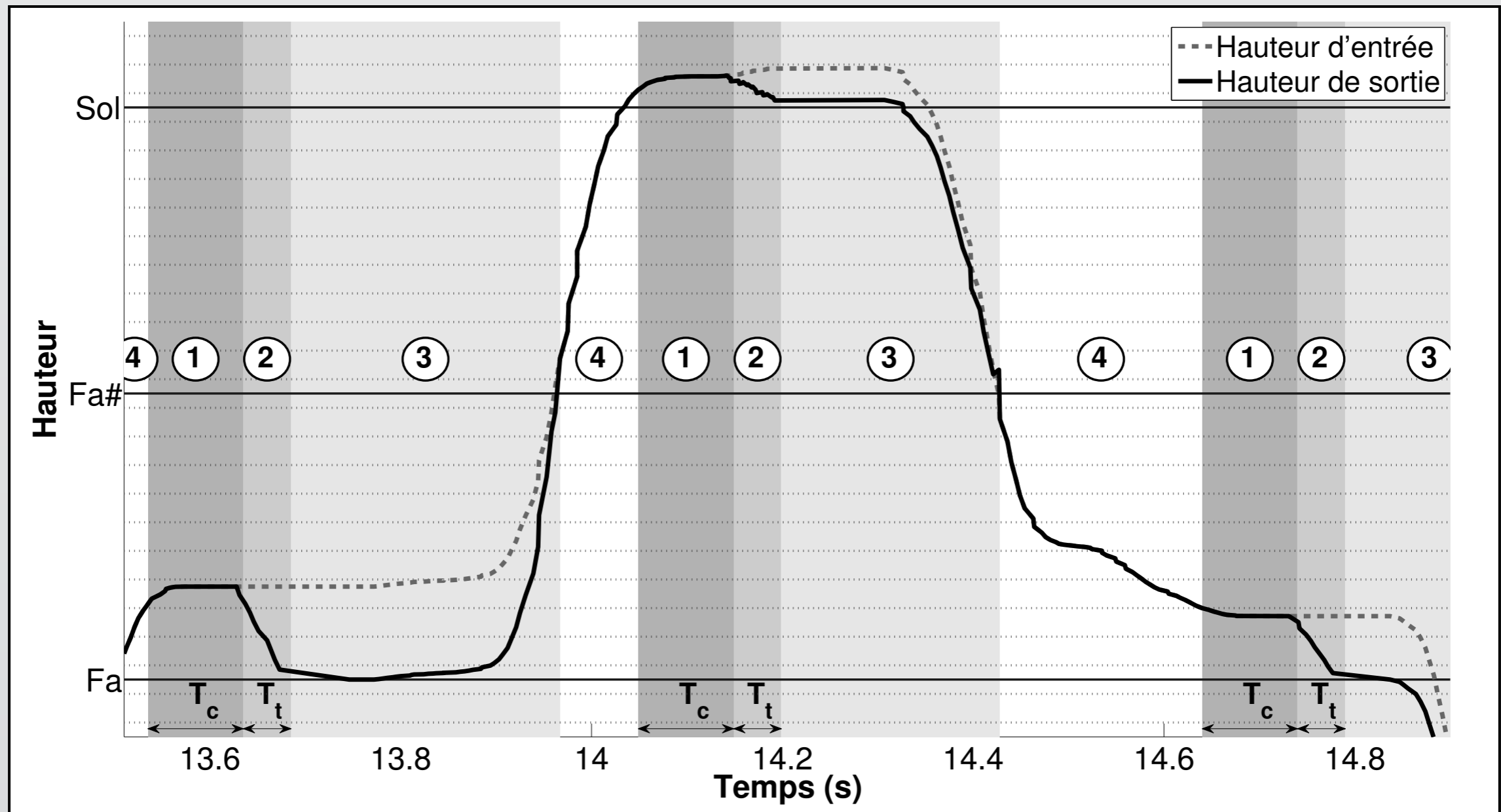


- Passe par le centre des notes précédentes et suivantes
- Passe par  $(x_0, 0)$
- ▶ Coefficient de courbure calculé à chaque déclenchement



# Dynamique de l'ajustement

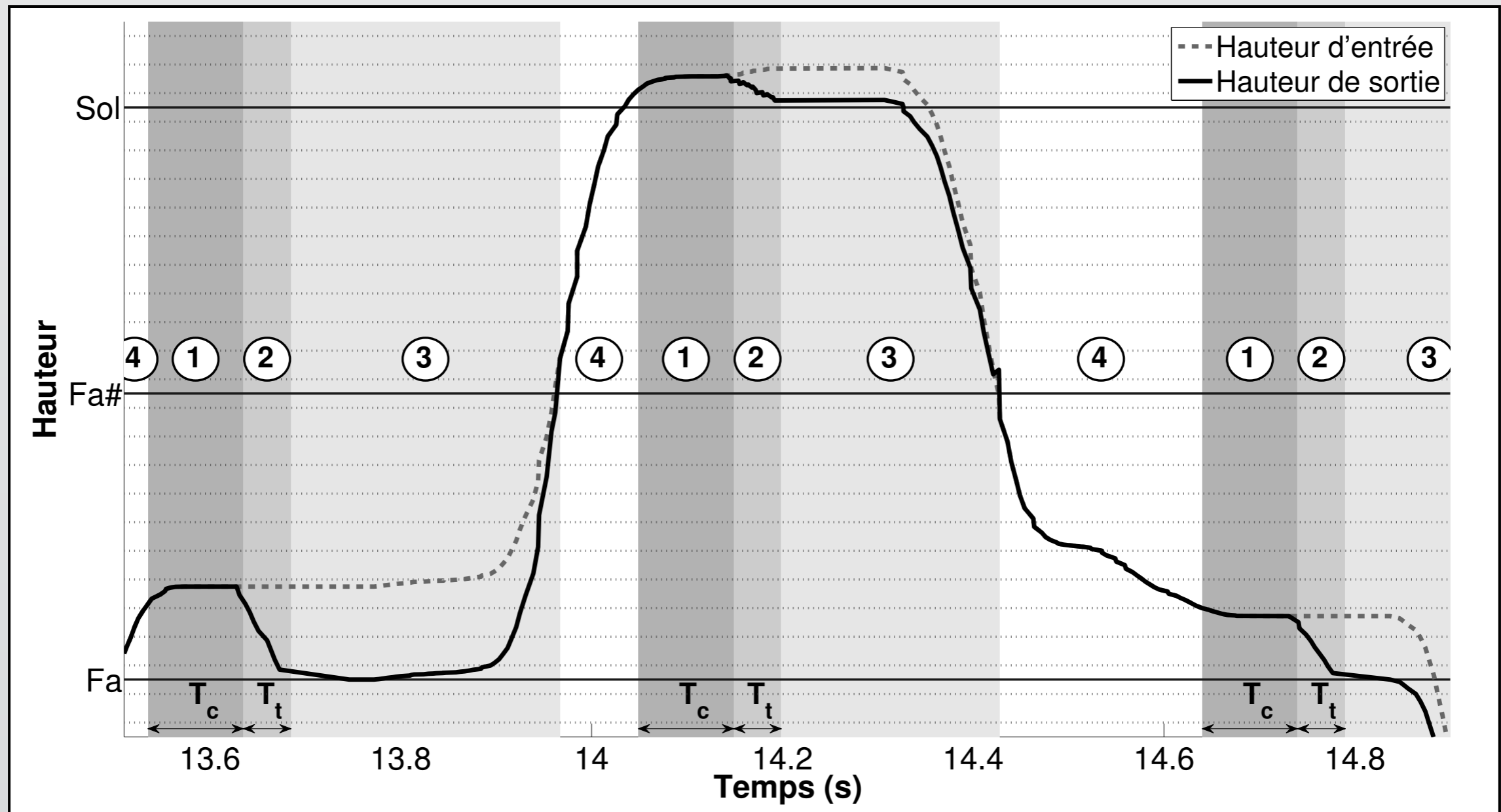
- Corrige note stables
- Laisse libre modulations



# Dynamique de l'ajustement

## 1 - Déclenchement de la correction

- Vitesse moyenne < seuil critique :  $\langle V_c \rangle = l / T_c$



# Dynamique de l'ajustement

---

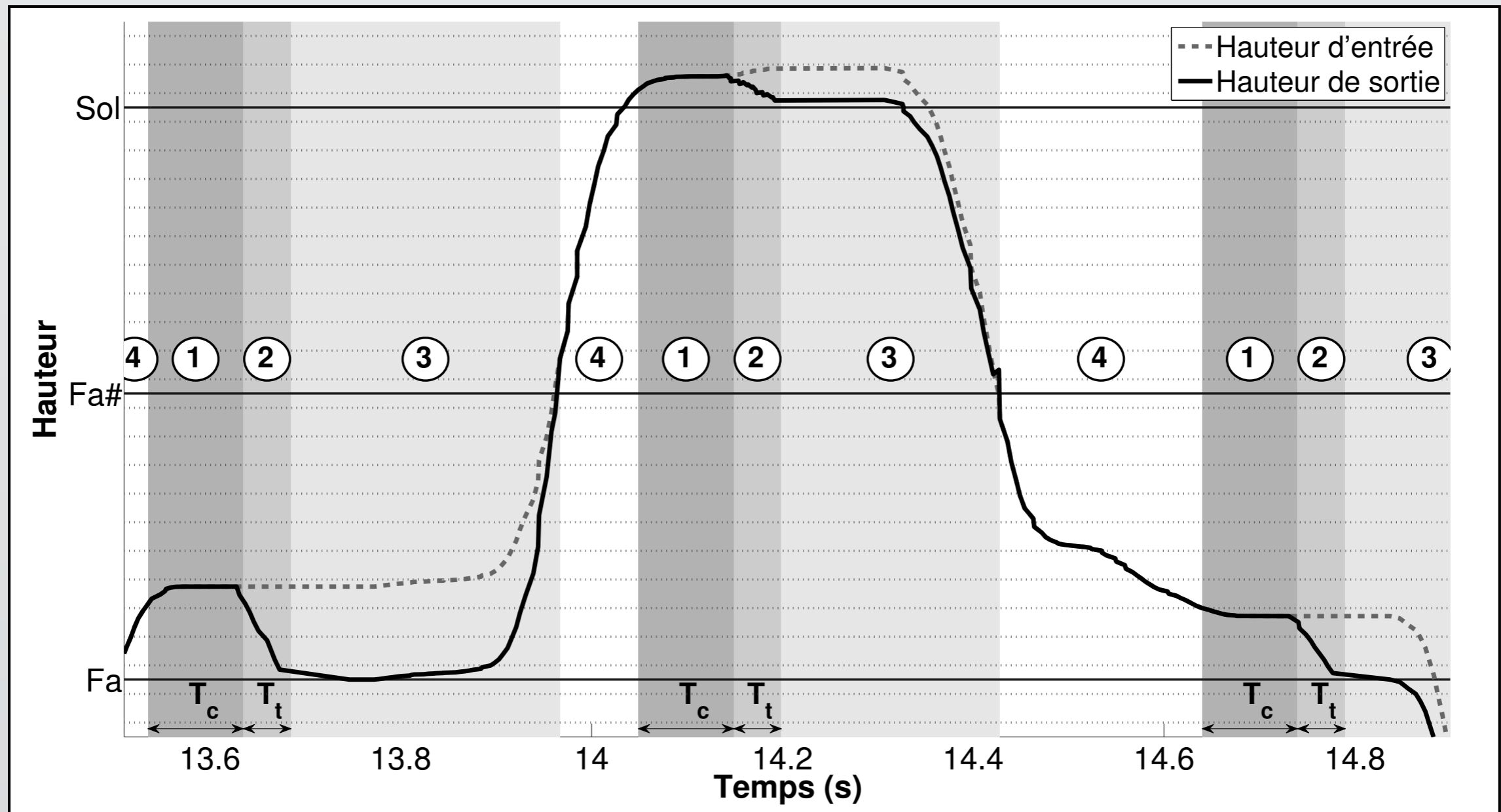
- 1 - Déclenchement de la correction
  - Choix de l'intervalle de détection
    - Petits (0.1 demi-tons) : correction fréquente
    - Grands (0.5 demi-tons) : moins intrusive
    - ▶ Choix de la fréquence (résolution) de la correction
  - Choix de la vitesse critique : inférieure à la vitesse moyenne de l'effet à préserver (ex : Vibrato ~ 2 demi-tons/s)
    - Vitesse critique faible : temps critique long
    - ▶ Réactivité vs expressivité



# Dynamique de l'ajustement

## 2 - Application de la correction

- Choix temps de transition  $T_t$



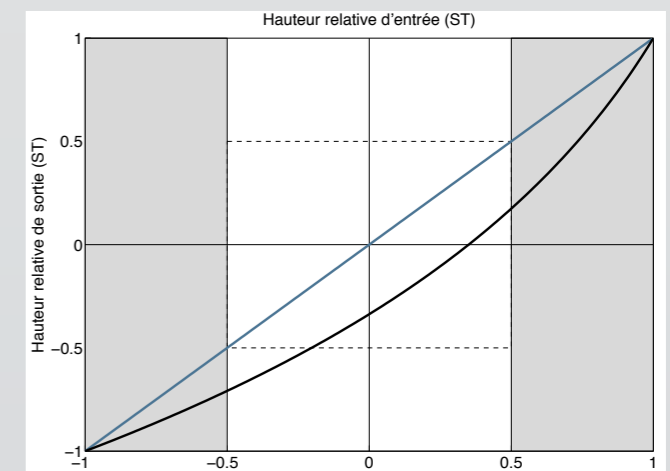
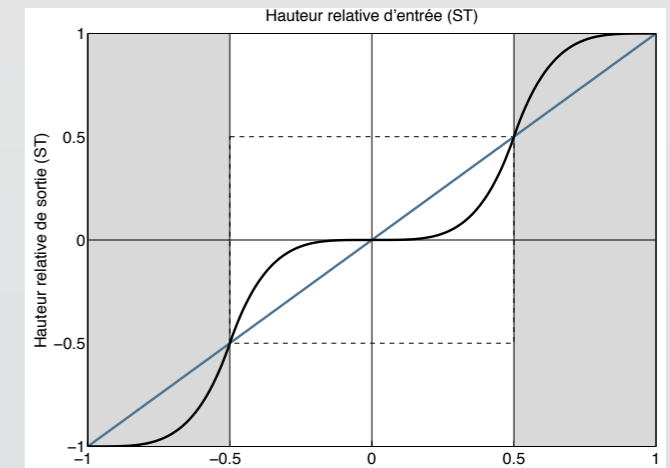
# Dynamique de l'ajustement

## 3 - Maintien de la correction

- Hauteur de sortie calculée en selon la fonction de correspondance utilisée

## 4 - Retrait de la correction

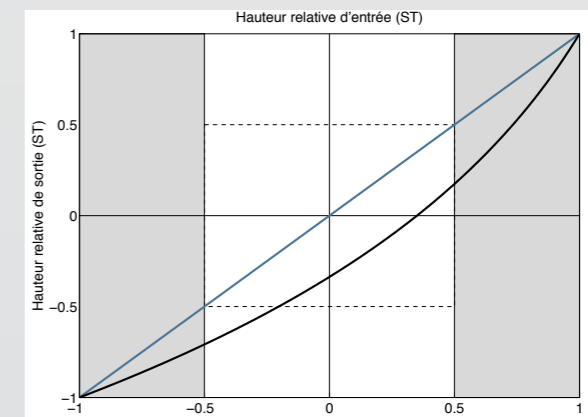
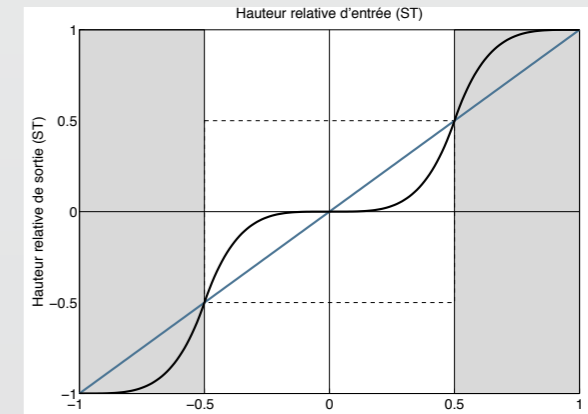
- Fonction notes étendues
  - Quitte l'intervalle de détection ayant déclenché la correction
- Fonction élastique
  - Atteint une note conjointe



# Résumé

---

- 2 fonctions de correction
  - Fonction notes étendues
  - Fonction élastique
- 3 paramètres de dynamique
  - Intervalle de détection (résolution)
  - Temps critique (réactivité vs expressivité)
  - Temps de transition (réactivité vs audibilité)



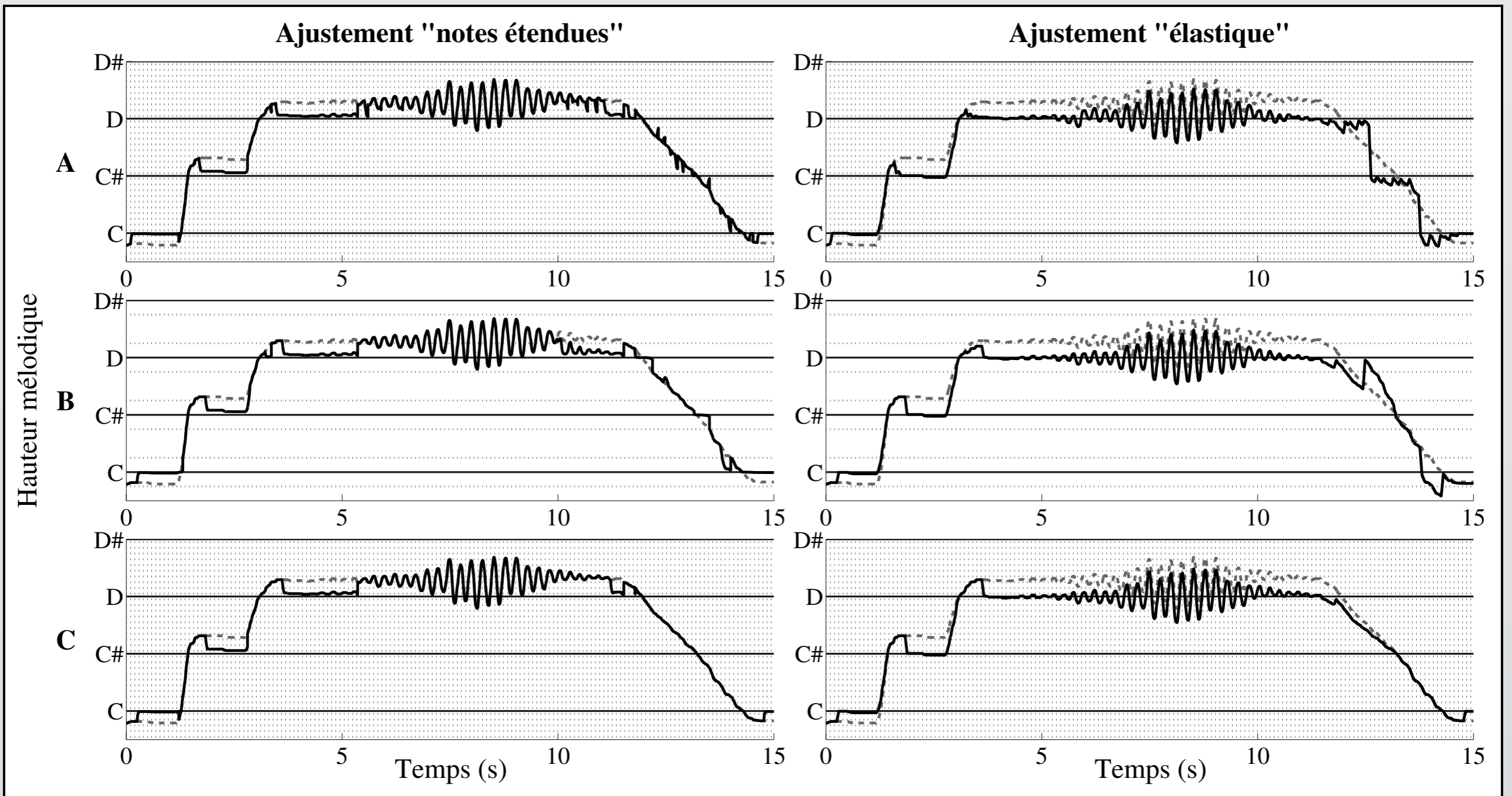
# Evaluation

---

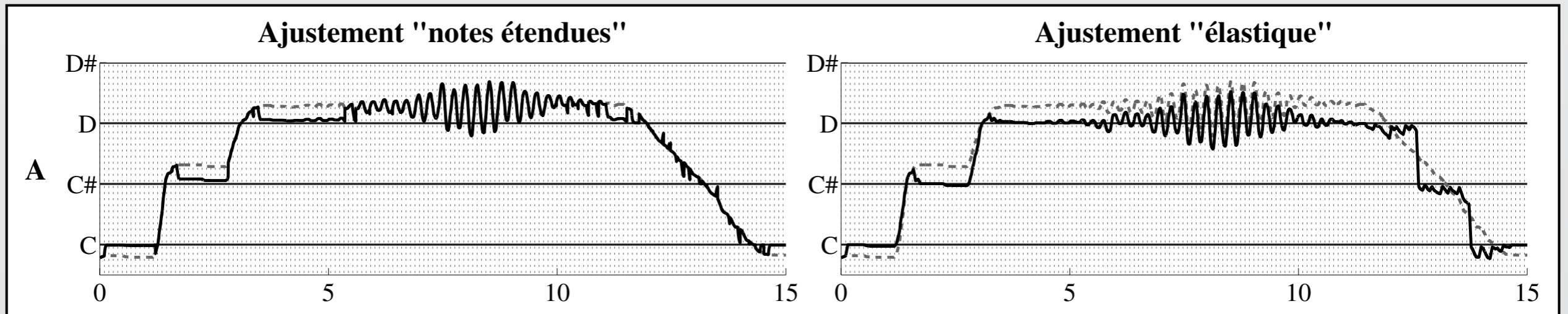
- Comparaison des deux fonctions
- Trois dynamiques

|                  | Intervalle   | Temps critique | Vitesse critique |
|------------------|--------------|----------------|------------------|
| A<br>(rapide)    | 0.1 demi-ton | 0.1 s          | 1 demi-ton/s     |
| B<br>(lent)      | 0.5 demi-ton | 0.25 s         | 2 demi-tons/s    |
| C<br>(compromis) | 0.1 demi-ton | 0.25 s         | 0.4 demi-ton/s   |

# Evaluation de l'expressivité



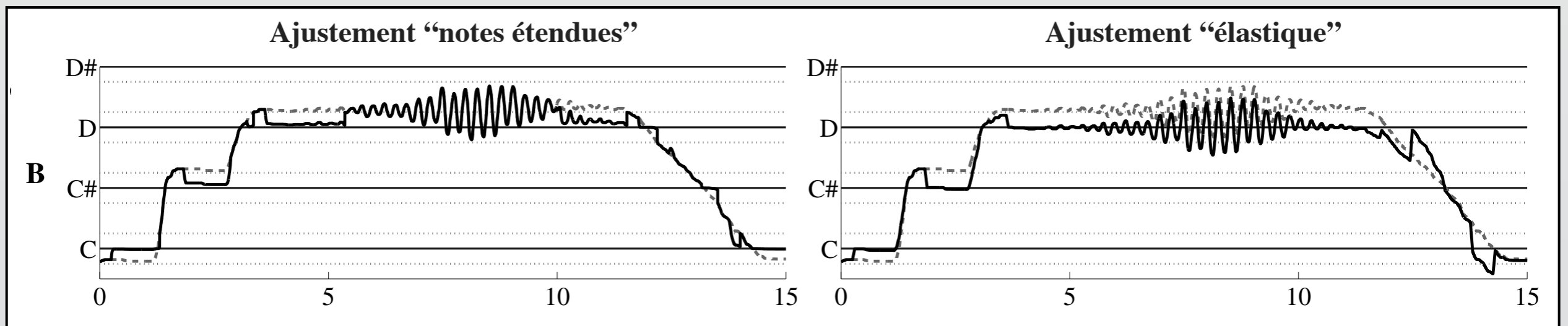
# Evaluation de l'expressivité



- Réglage **rapide**
  - Correction rapide pour les portamento
  - Distorsion pendant les vibratos et glissandos

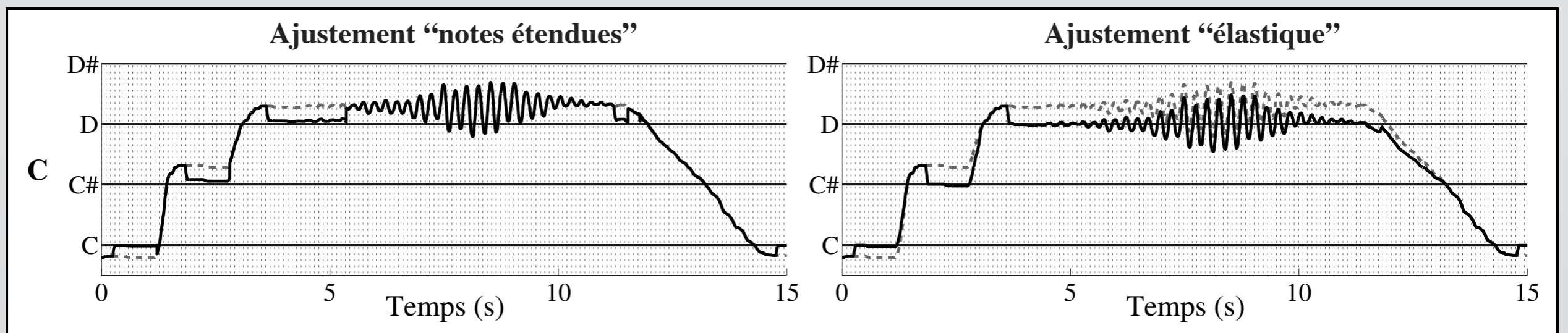
# Evaluation de l'expressivité

- Réglage **lent**
  - Vitesse critique supérieure aux glissandos (2 ST/s)
  - Distorsions



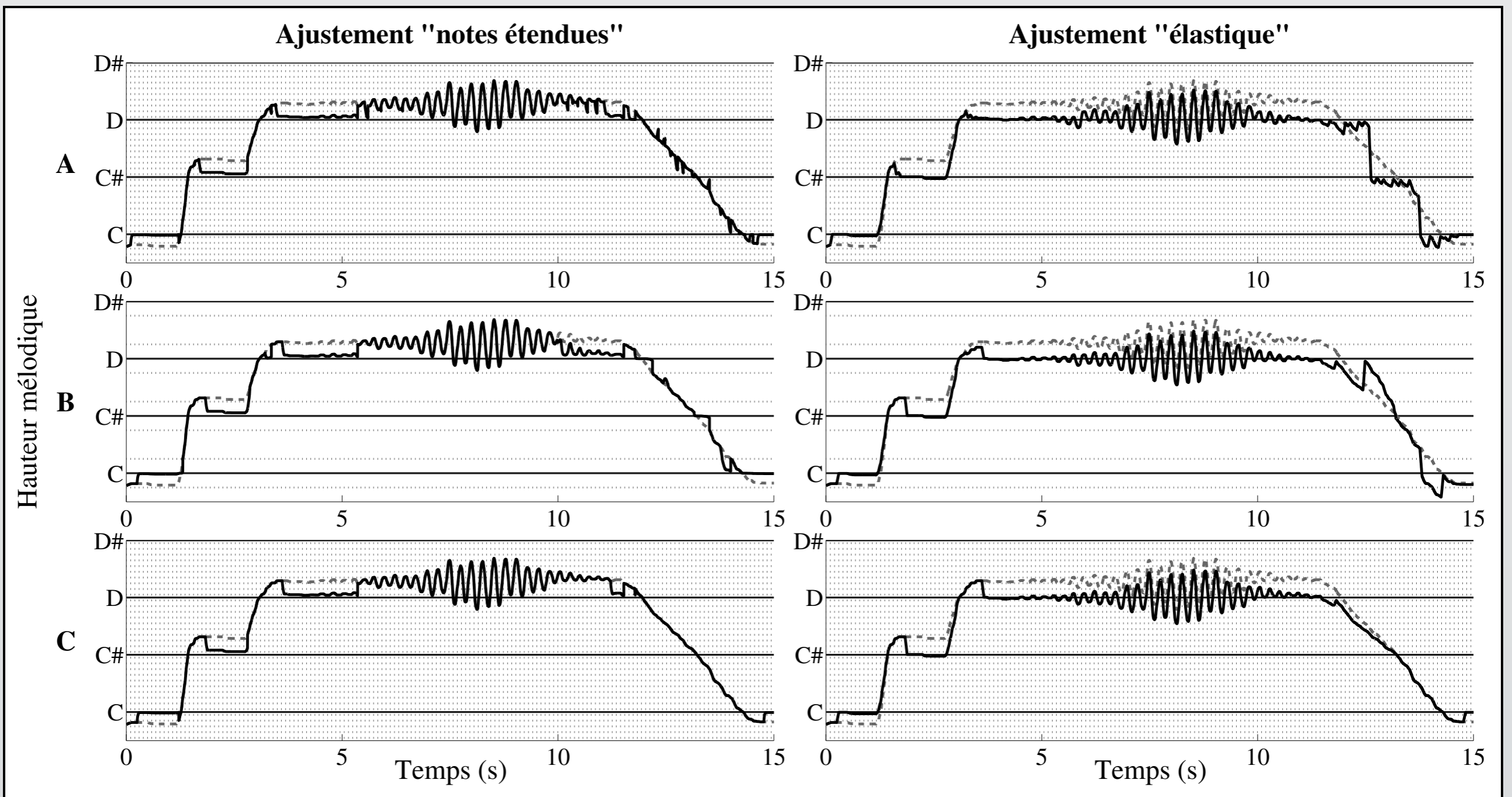
# Evaluation de l'expressivité

- Grande résolution et temps critique long (0.4 ST/s)
  - Demande une grande stabilité
  - Pas de distorsions





# Evaluation de l'expressivité



# Evaluation de l'expressivité

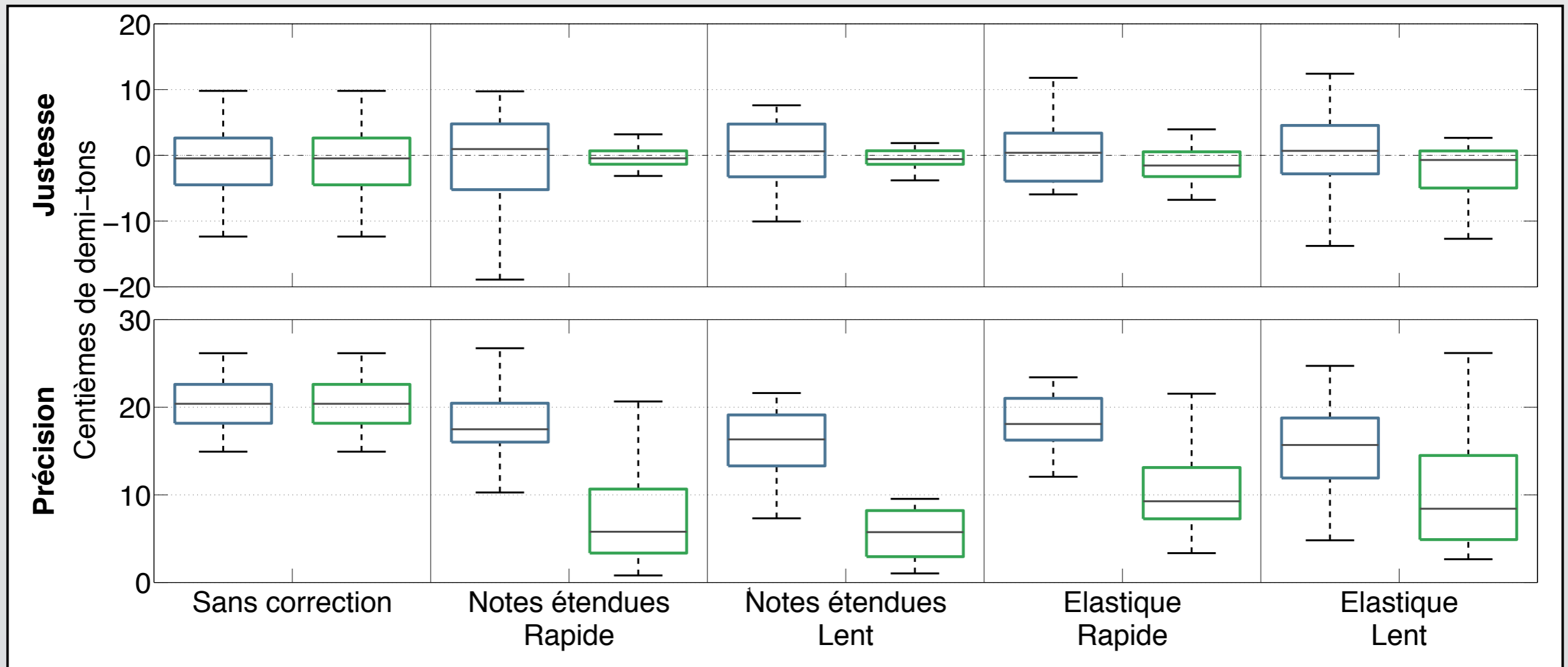
---

- Intervalle de détection faible
  - ▶ Meilleure résolution
- Temps critique long
  - ▶ Préservation des modulations
  - ▶ Compromis avec la réactivité (tempos rapides)
- Fonction élastique conserve mieux l'expressivité

# Evaluation de la justesse

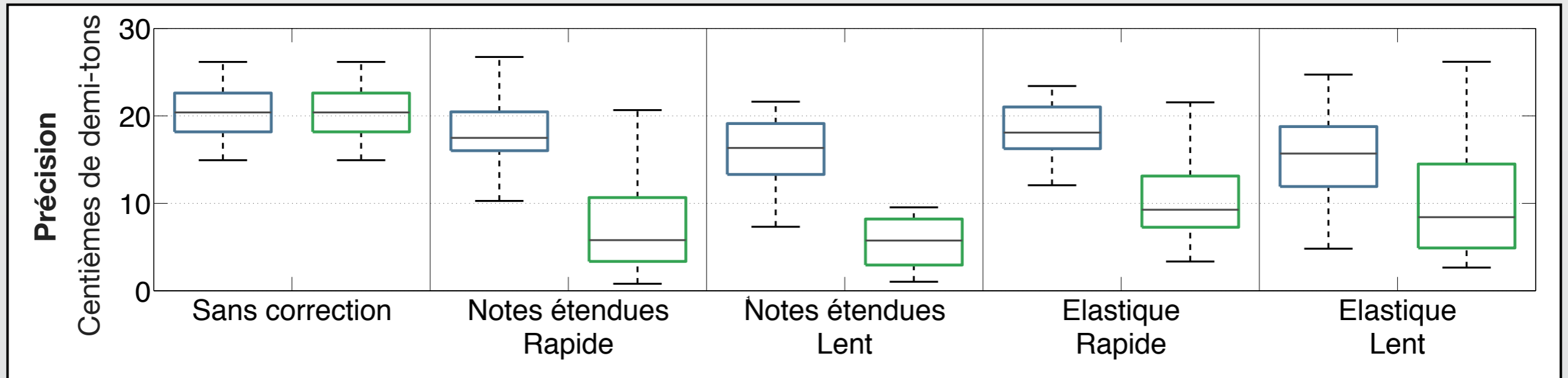
10 sujets X 4 mélodies X 2 tempos X 5 conditions

— Hauteur d'entrée  
— Hauteur de sortie



- Pas d'effet significatif sur les justesses déjà très faibles

# Evaluation de la justesse



— Hauteur d'entrée  
— Hauteur de sortie

- Précisions d'entrées ~15 - 20 cents
- Précisions de sorties significativement améliorées
- Fonction Notes étendues plus précise
- Pas de différence lent / rapide
- Plus de correction rapide (57%) que lent (38%)

# Conclusions

---

- Correction temps réel de la hauteur mélodique
  - Deux fonctions de correspondance
  - Dynamique ajustable
- Amélioration de justesse et précision
  - Proche du seuil de perception
  - Inférieure à la limite imposée par le matériel
- Préservation de l'expressivité
  - Intervalle de détection court
  - Temps critique à ajuster
  - Meilleure préservation pour **note élastique**

# Expressions analytiques

- Note étendue

$$y_{NE}(x) = 2^{z-1} \times \text{signe}(x) \times |x|^z$$

$x$  = hauteur d'entrée  
 $y_{NE}$  = hauteur de sortie

- Note élastique

- Fonction

$$\begin{cases} y_E(x) = \frac{1}{\gamma} \left[ \log \left[ (e^{2\gamma} - 1) \left( \frac{x+1}{2} \right) + 1 \right] \right] - 1 & \text{si } \gamma \neq 0 \\ y_E(x) = x & \text{si } \gamma = 0 \end{cases}$$

$x$  = hauteur d'entrée  
 $y_E$  = hauteur de sortie  
 $\gamma$  = courbure

- Courbure

$$\gamma_0 = \log \left( \frac{1 - x_0}{1 + x_0} \right)$$

$x_0$  = hauteur d'entrée au déclenchement  
 $\gamma_0$  = courbure au déclenchement

# Justesse et précision

---

- Justesse

Moyenne des erreurs entre notes cibles et notes jouées

$$A = \frac{\sum_i^N (S_i - T_i)}{N}$$

- Précision

Ecart-type des notes ayant une cible identique

$$P_{PC} = \sqrt{\frac{\sum_i^{N_{PC}} (S_i - M_{PC})^2}{N_{PC}}}$$

- Notations

$S_i$  = note jouée indexée par  $i$

$T_i$  = note cible indexée par  $i$

$N$  = nombre de notes sur l'ensemble

$M_{PC}$  = moyenne de toutes les notes ayant la même cible

$N_{PC}$  = nombre de notes ayant la même cible