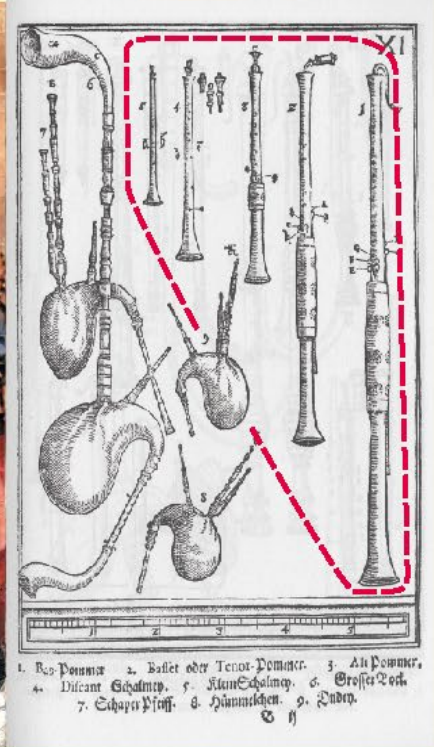
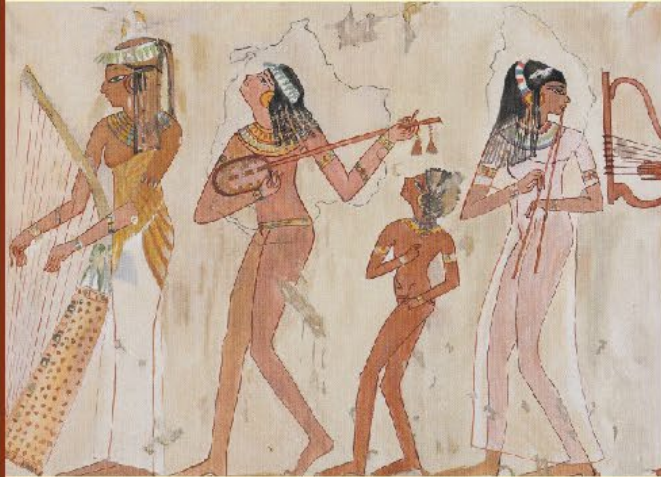


# Disseny científic d'instruments musicals ?



Joaquim Agulló Batlle  
IMAGINARI 2021

# Disseny científic *versus* disseny artesanal.

**Disseny artesanal:** prototip real

una modificació del perfil  
o del forat d'una nota



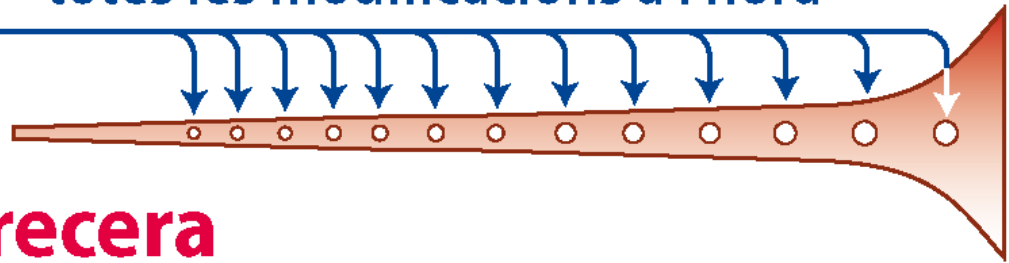
afecta altres notes, que cal corregir

- **Cal un procés iteratiu costós en temps i en diners**

**Disseny amb base científica:** prototip virtual

model matemàtic  
de l'instrument

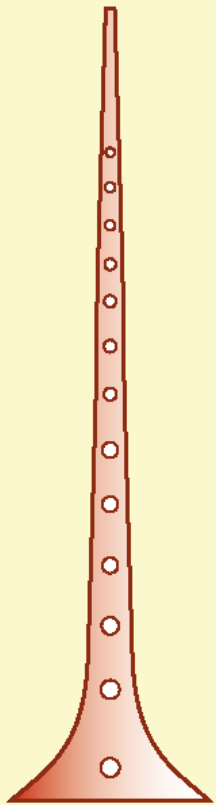
totes les modificacions a l'hora



- **Permet fer drecera**

# Redisseny científic d'un instrument musical.

instrument  
existent



àmbit físic  
àmbit musical

mides i  
paràmetres físics

↕  
model  
matemàtic

característiques  
acústiques



característiques  
musicals

- afinació
- timbre
- marge dinàmic
- espontaneïtat
- .....

noves mides

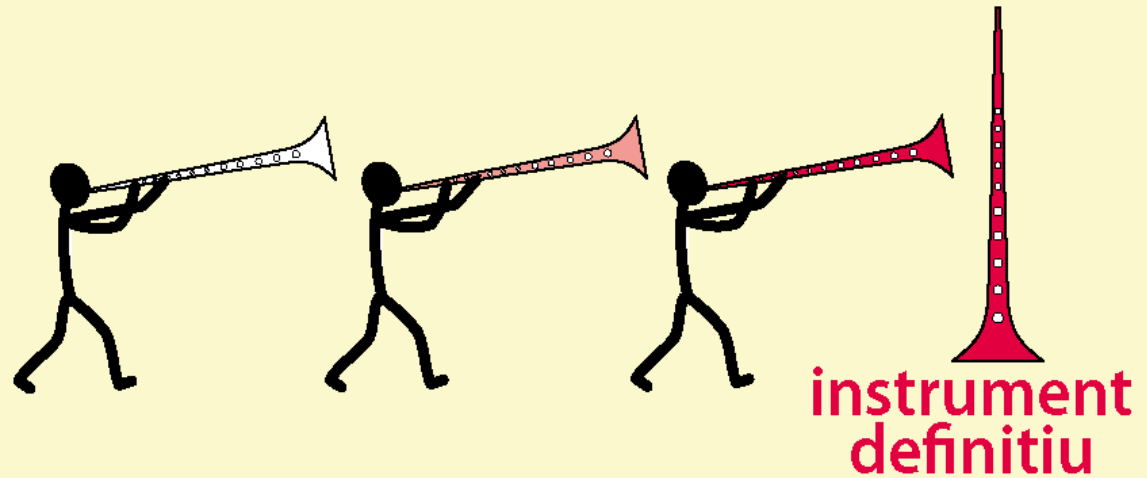
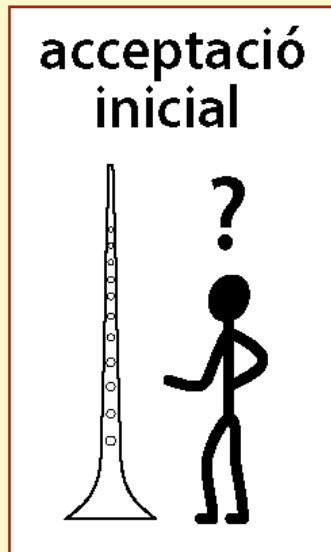
↑  
model  
matemàtic

canvis en les  
característiques  
acústiques

↑  
cal traduir-les

exigències  
musicals  
de millora

# Disseny científic d'un nou instrument musical.



previsió de  
característiques  
musicals

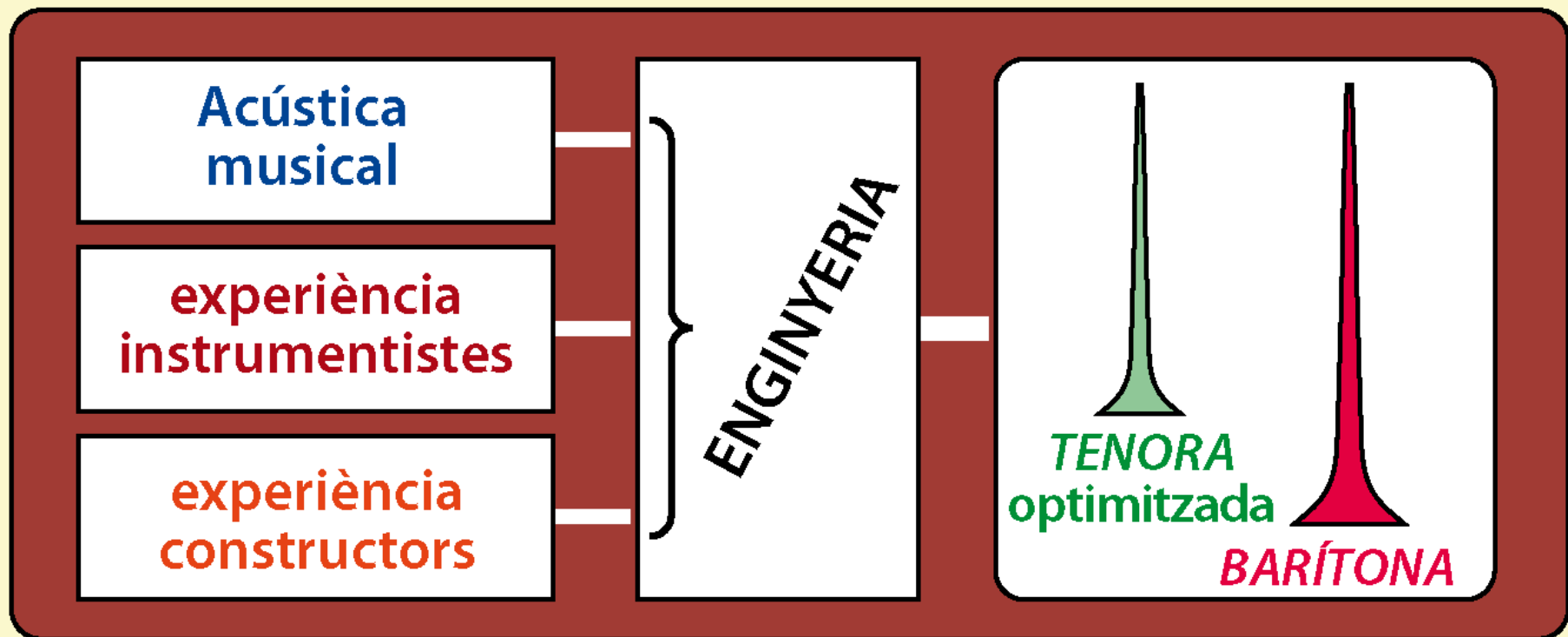
prototip  
"zero"

prototip ajustat  
a les previsions

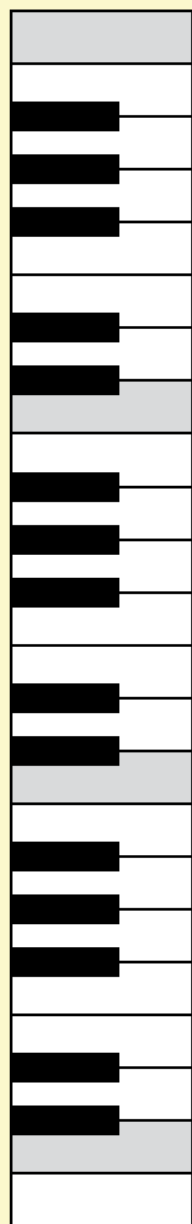
**cal que sigui acceptat!  
aquest és el gran repte**

# Els dos programes de recerca de l'IEC:

- "Millora del disseny de la tenora"
- "Disseny d'una xeremia barítona com a complement de la tenora i del tible"



**TIBLE** i **BARITONA** afinats en Fa  
**TENORA** afinada en Si<sup>b</sup>



Do<sub>5</sub>

Fa<sub>4</sub><sup>#</sup> **TIBLE**

quinta  
quarta  
octava

Do<sub>4</sub> **TENORA**

Do<sub>4</sub><sup>#</sup>

Do<sub>4</sub><sup>#</sup>

Si<sub>3</sub>

440

**BARÍTONA**

Fa<sub>3</sub><sup>#</sup>

Do<sub>3</sub>

La<sub>2</sub>

Si<sub>2</sub>

Fa<sub>2</sub><sup>#</sup>

**TIBLE**

220

Mi<sub>2</sub>

Fa<sub>2</sub><sup>#</sup>

**TENORA**

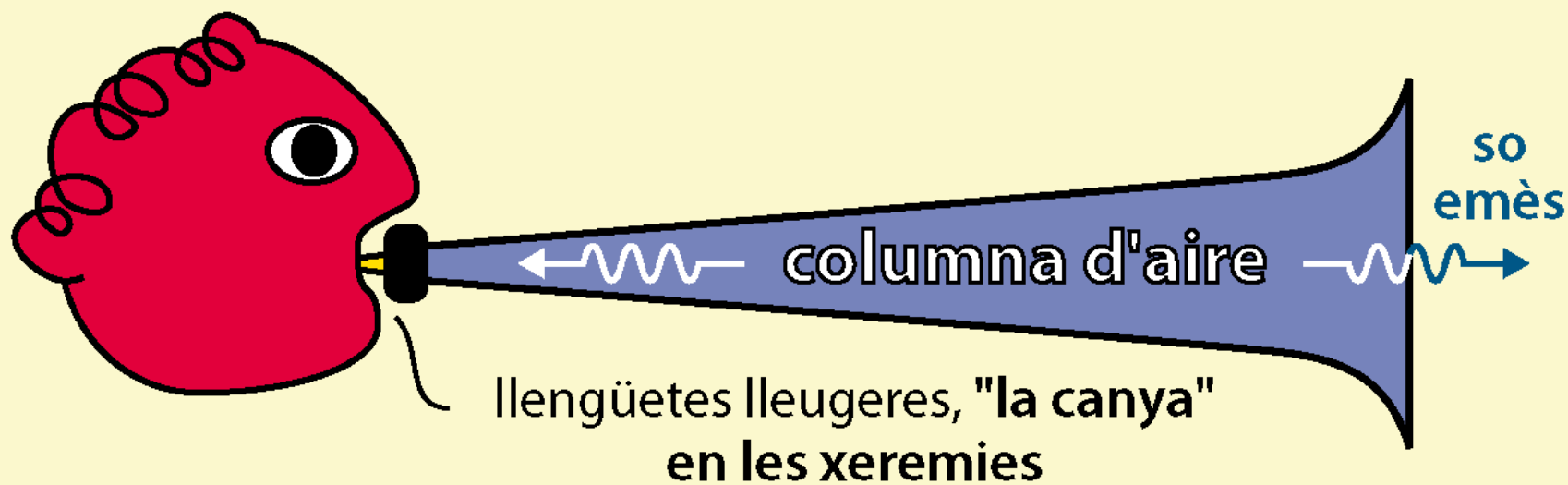
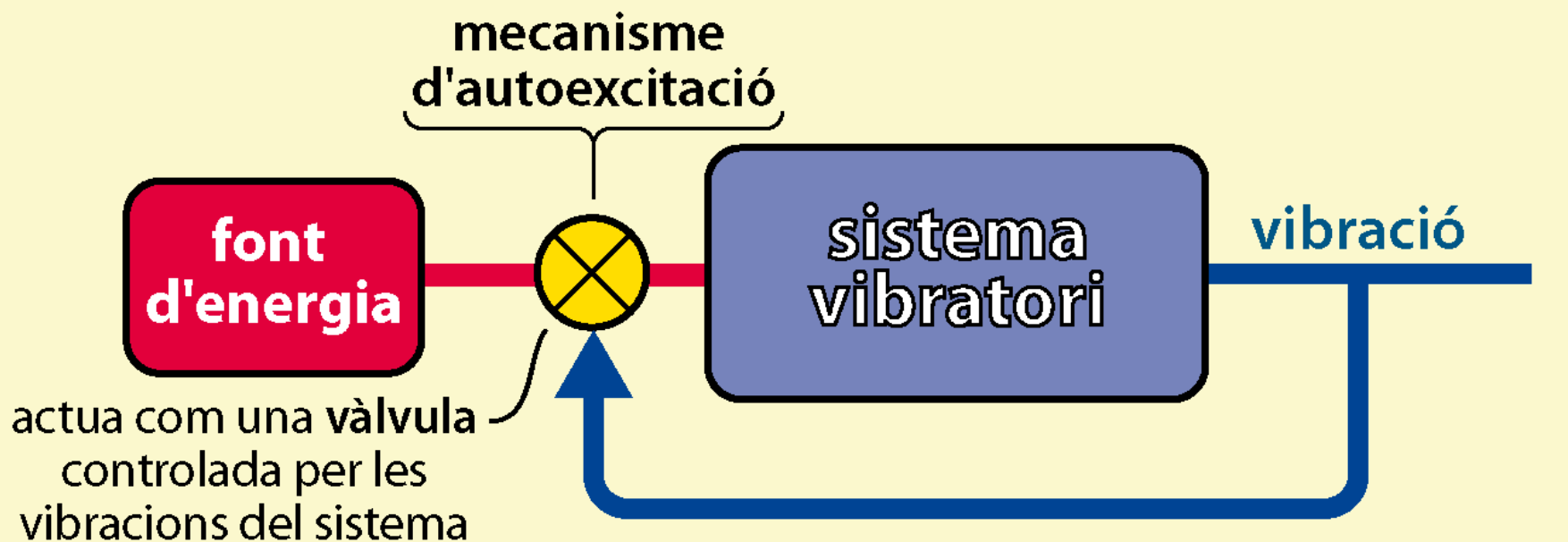
Do<sub>2</sub>

Si<sub>1</sub>

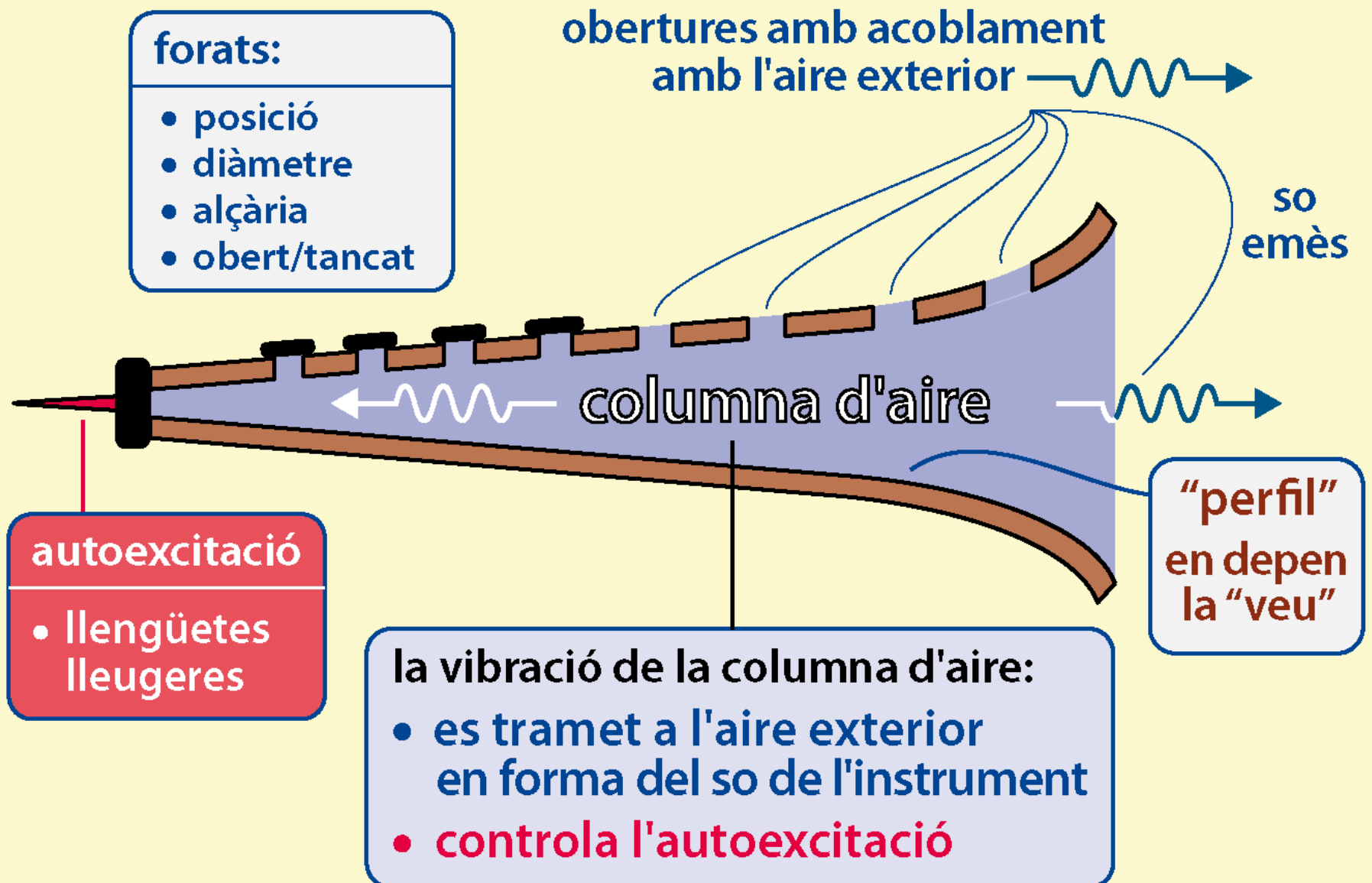
Fa<sub>1</sub><sup>#</sup>

**BARÍTONA**

# Instrumentos de vent: tots són autoexcitats.

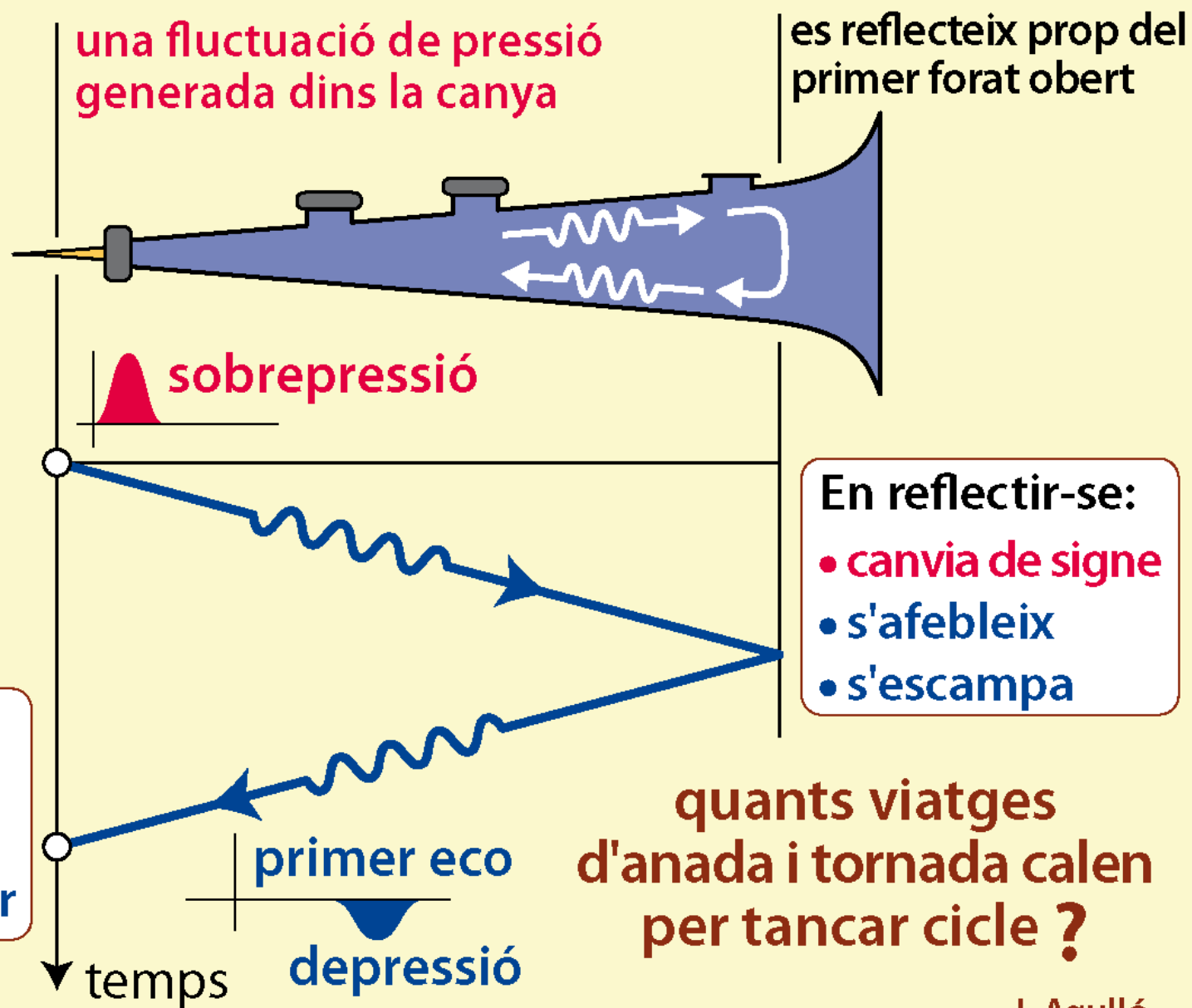


# Sistema vibratori d'una "xeremia"

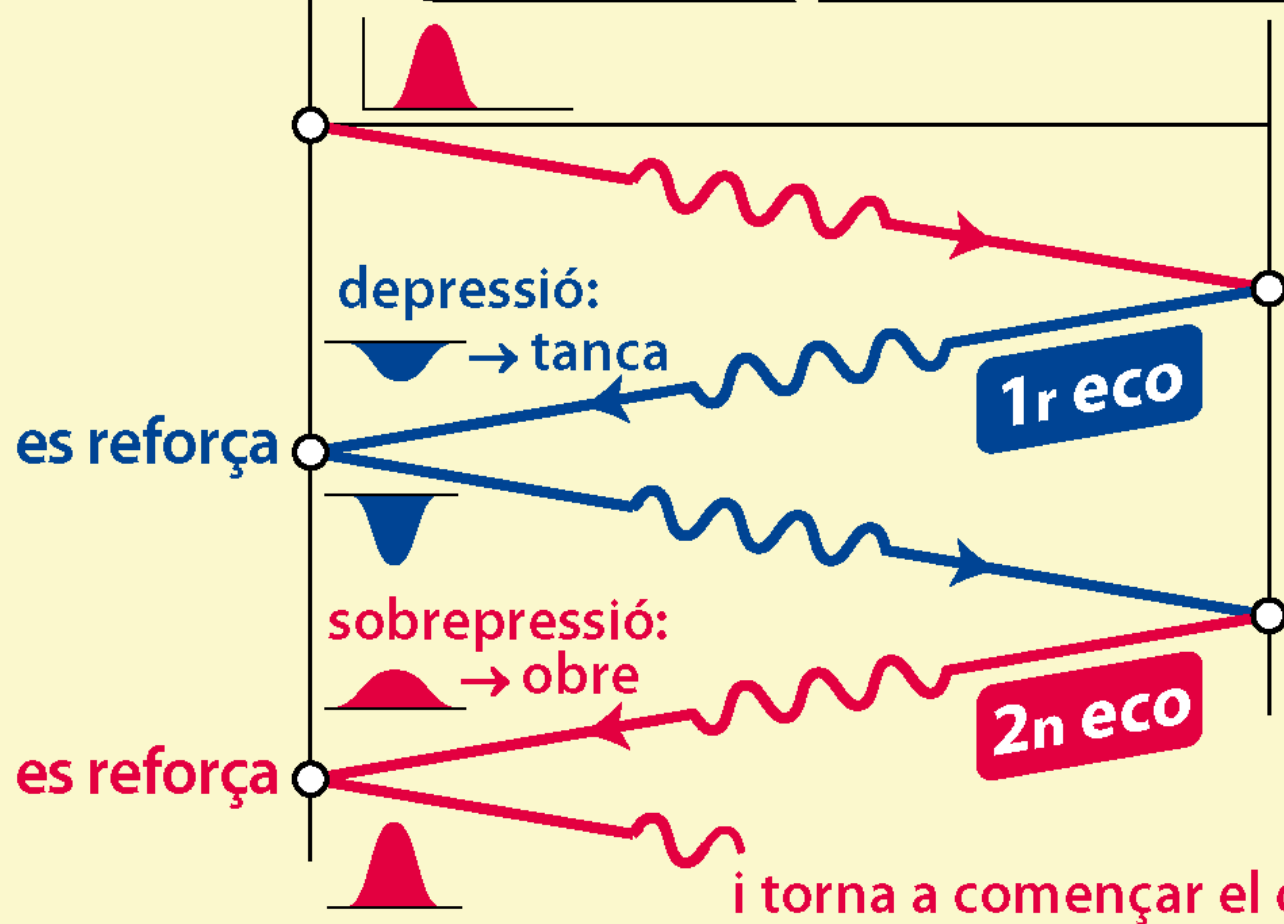




# La canya respon als ecos



# El paradigma del clarinet



Funcionament  
de 2 CICLES:

1 PERÍODE =  
temps de  
2 trajectes  
d'anada i tornada

com els motors  
de 4 temps

# Paradoxa de les xeremies

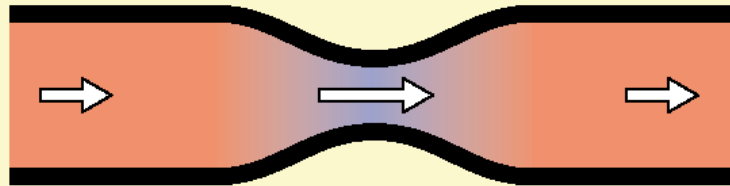
- Cada cop que rep un 1r eco:
- la canya tanca bruscament,
  - genera una forta depressió
  - i reinicia un nou cicle



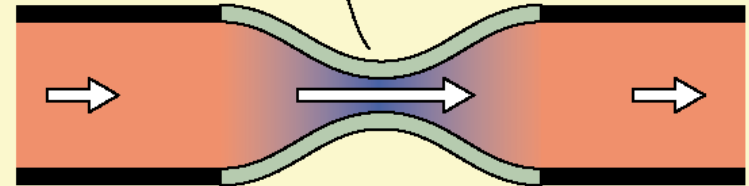
- Com s'explica que acabi tancant?
- Quin fenomen li ho permet?

# Les depressions en passos estrets

depressió

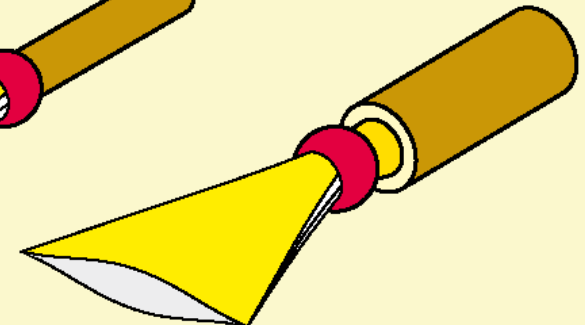
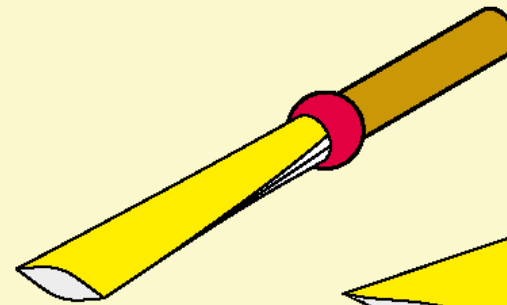
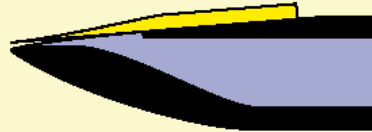
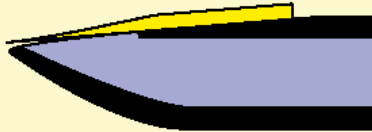
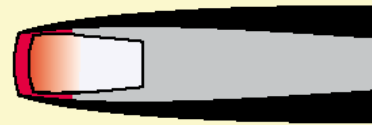
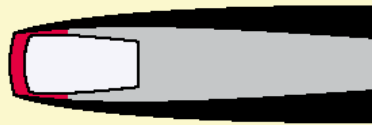


paret flexible



les canyes estableixen un pas estret flexible on s'originen depressions:

la depressió tendeix a tancar el pas



febles en el règim *no batent* del clarinet

apreciables en el saxòfon

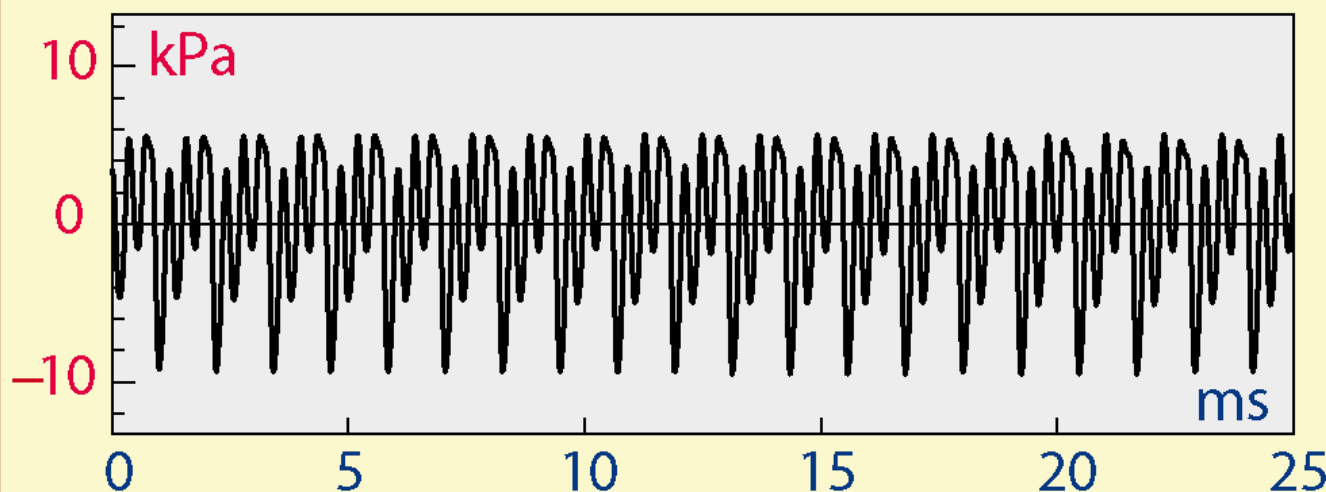
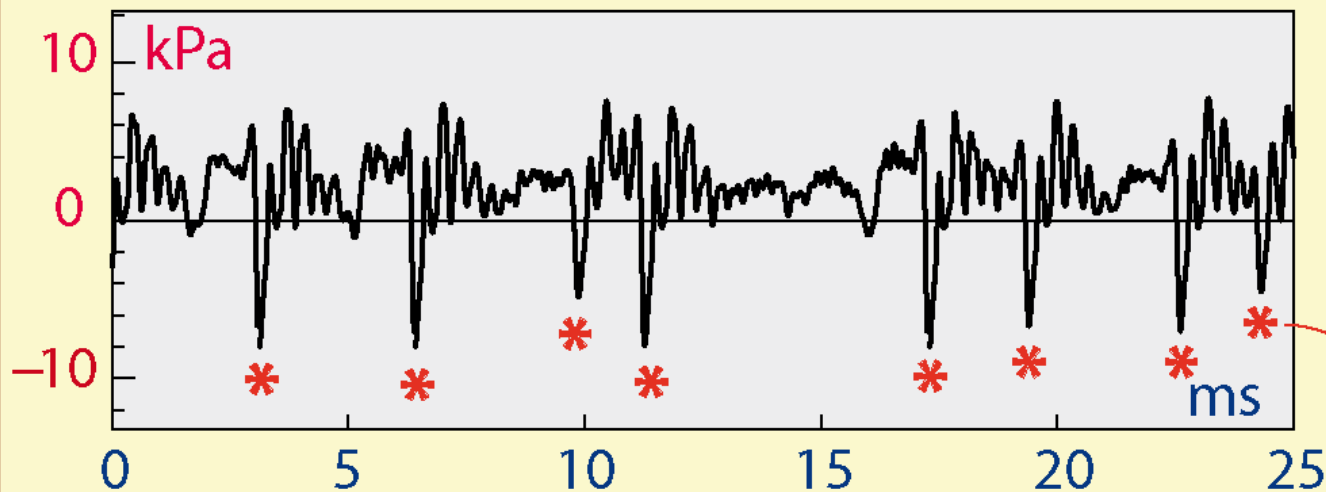
intenses en l'oboè

decisives en les *xeremies* de la cobla

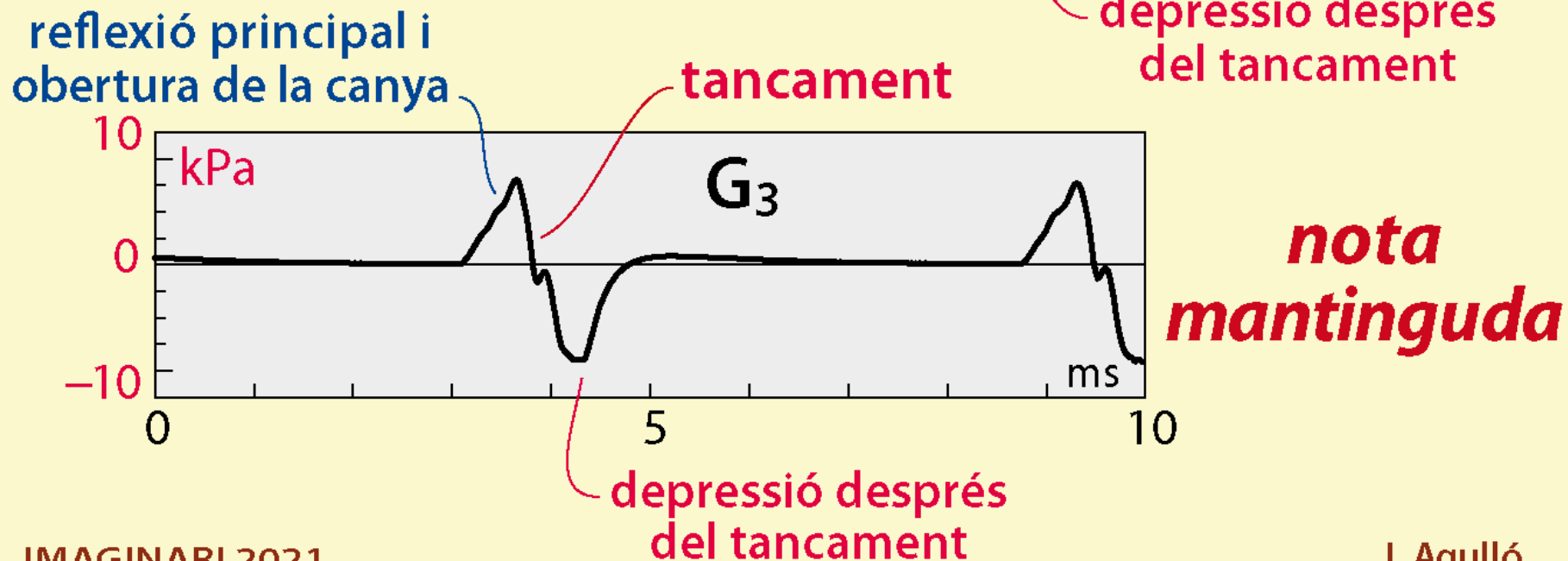
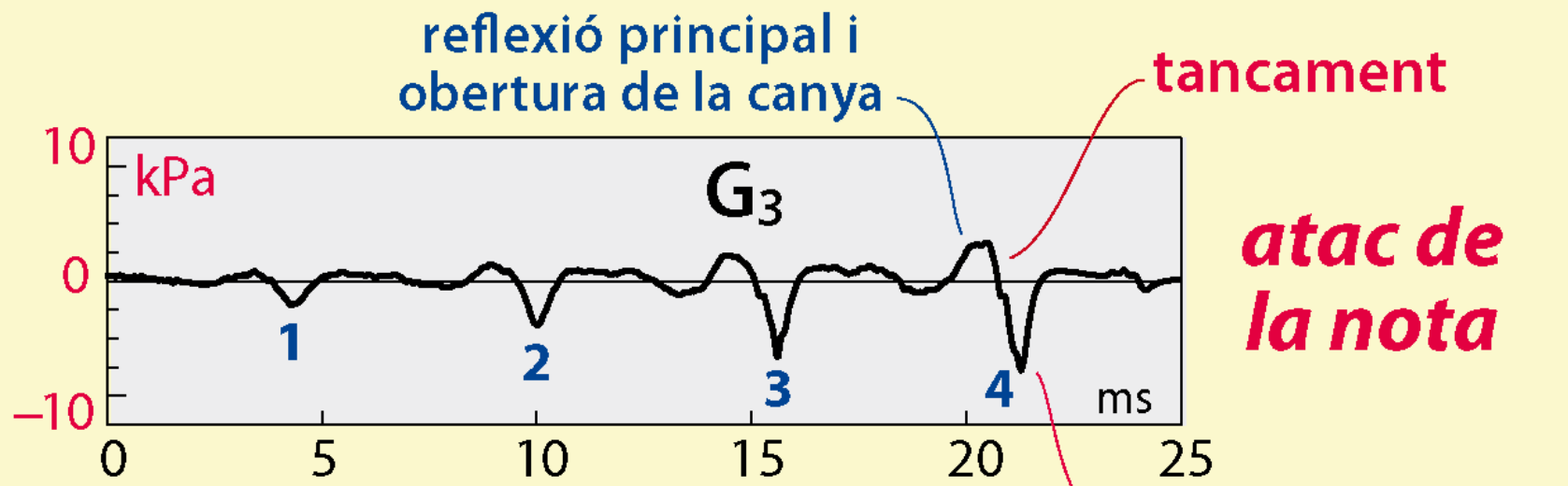
es poden fer obrir i tancar del tot sense columna d'aire: el "rogall"

INDICI

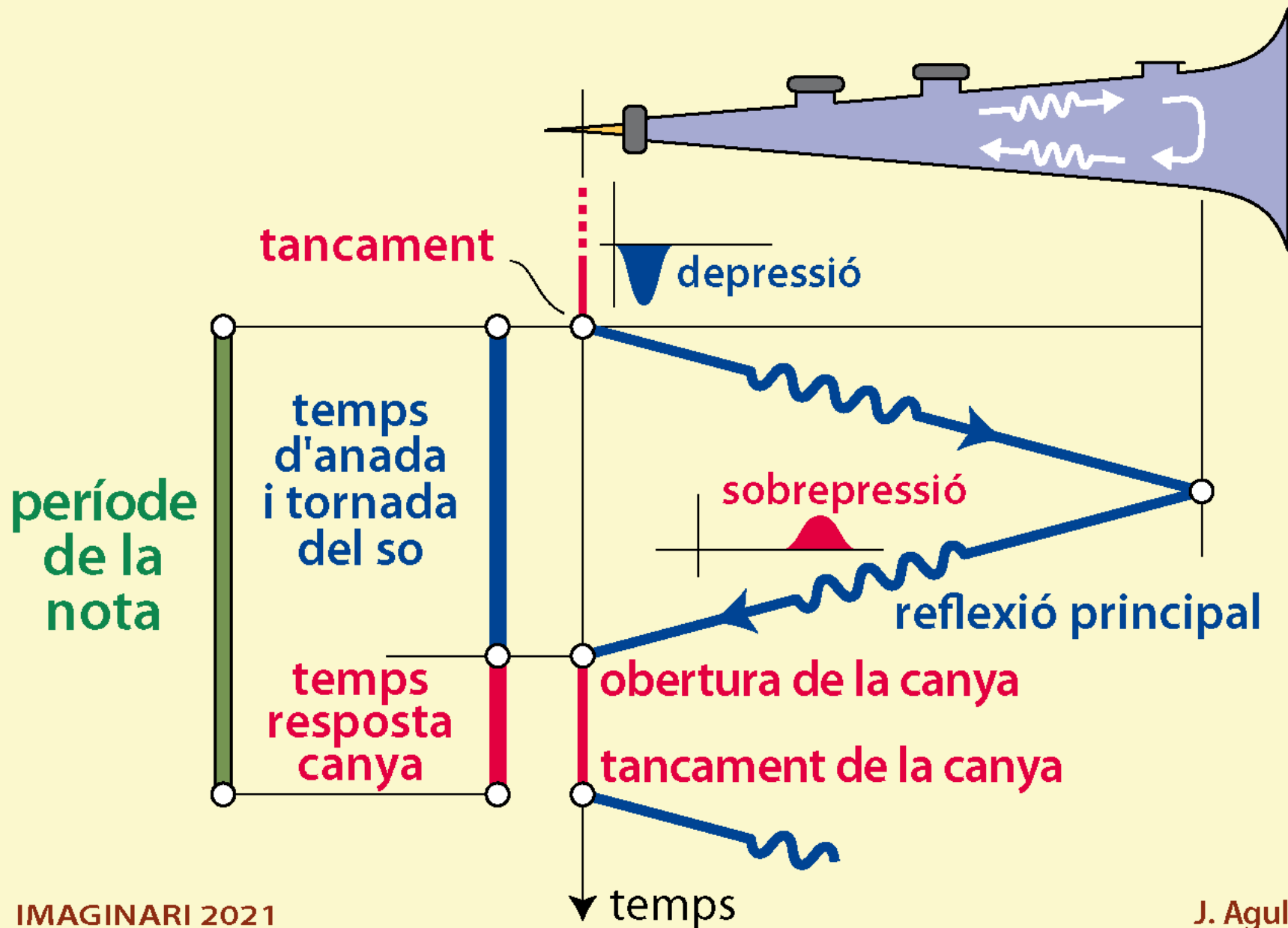
# Dos assaigs per provar una canya



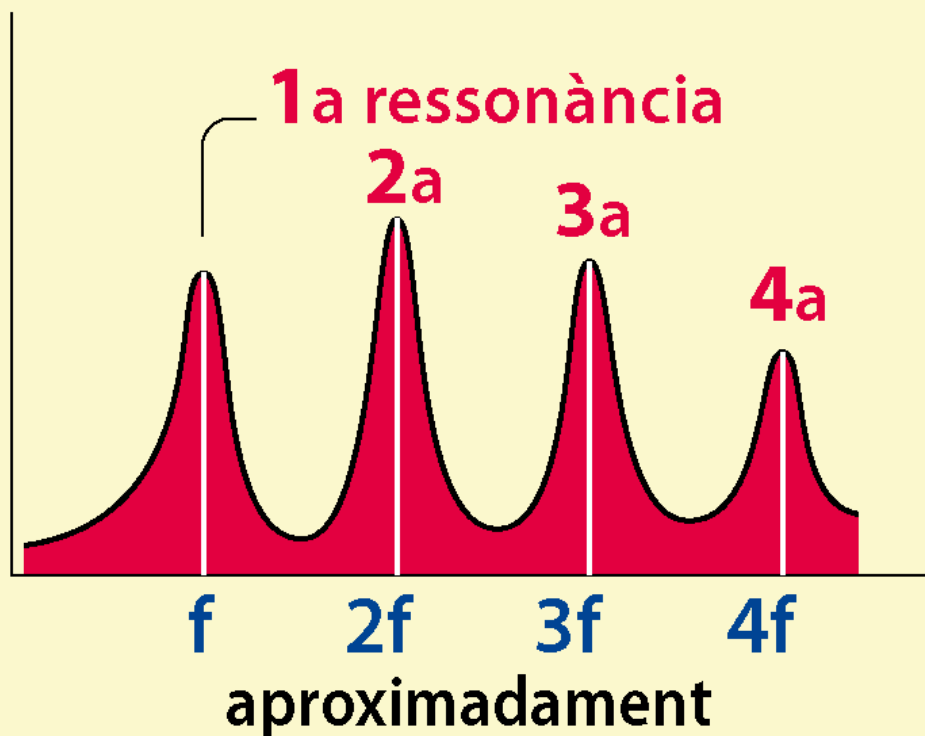
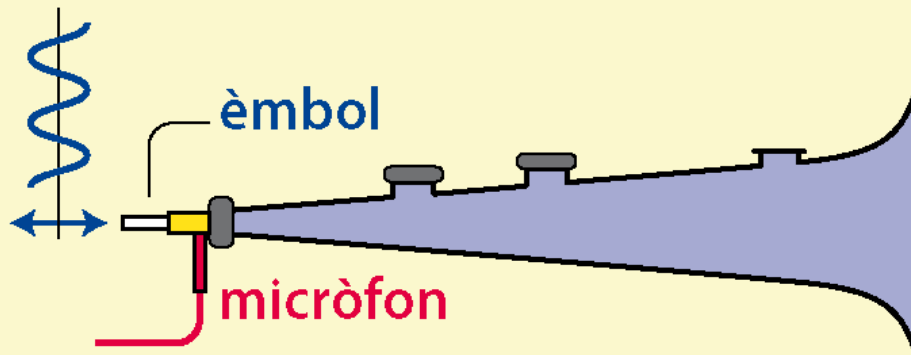
# Pressió dins del tudell



# Requisit per a l'afinació de l'atac d'una nota



# Ressonàncies de les xeremies



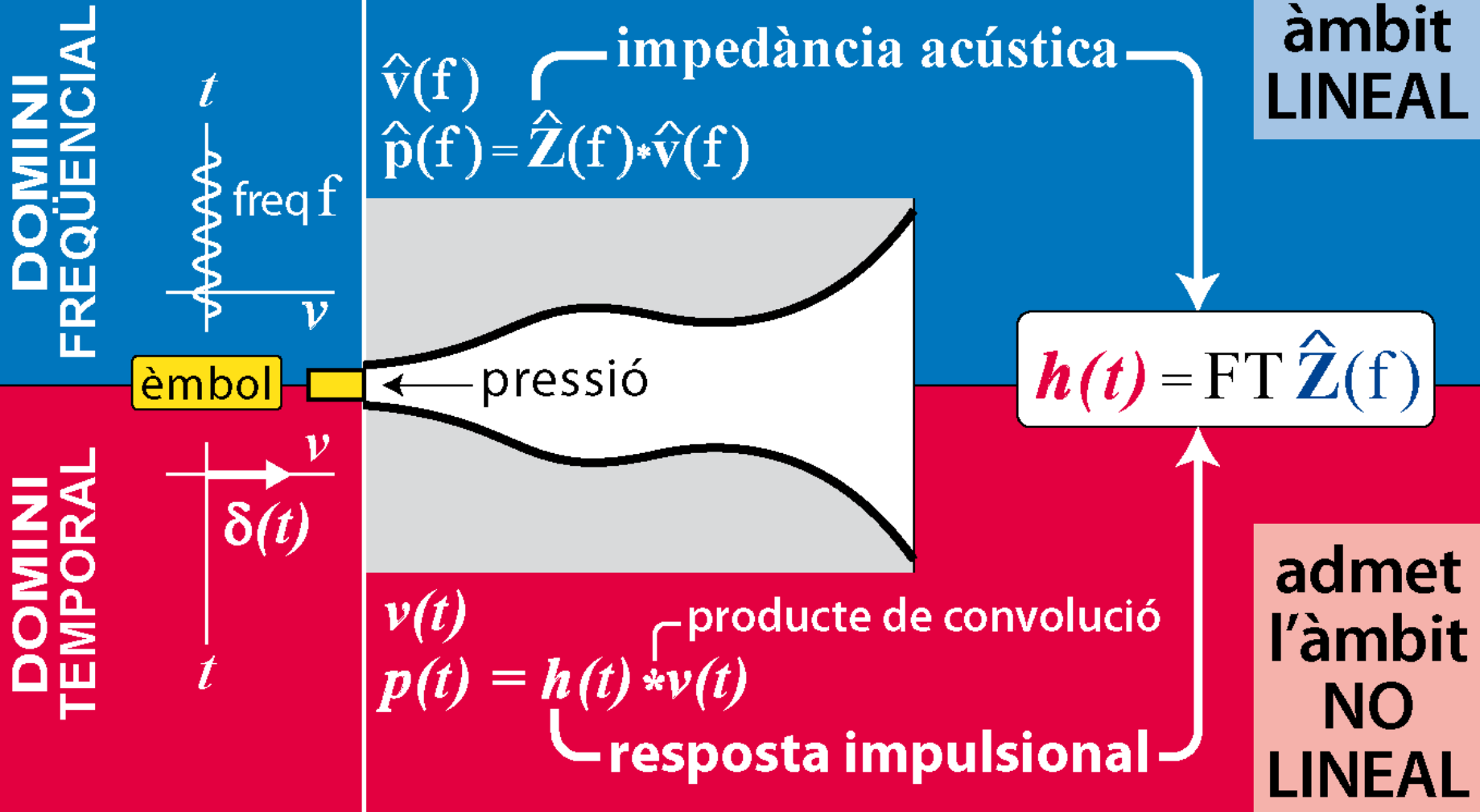
- la 1a resonància controla el 1r registre
- la 2a resonància controla el 2n registre

Les altres resonàncies, si són prou harmòniques, col·laboren a empènyer la canya:

- reforcen i estableixen el seu moviment
- enriqueixen el timbre del so



# Domini freqüencial *versus* domini temporal.

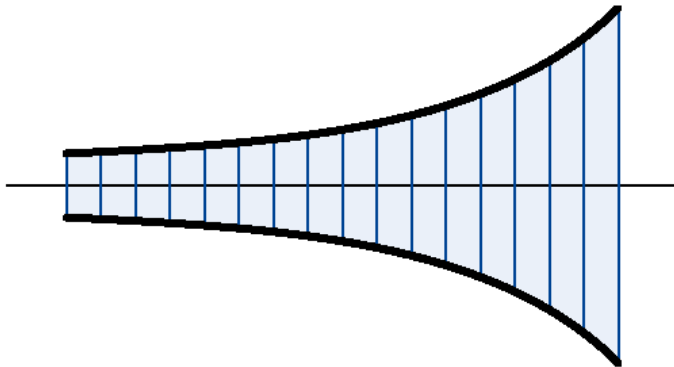


- En la simulació del funcionament de les xeremies cal emprar  $h(t)$  perquè el procés d'autoexcitació és acusadament no lineal.

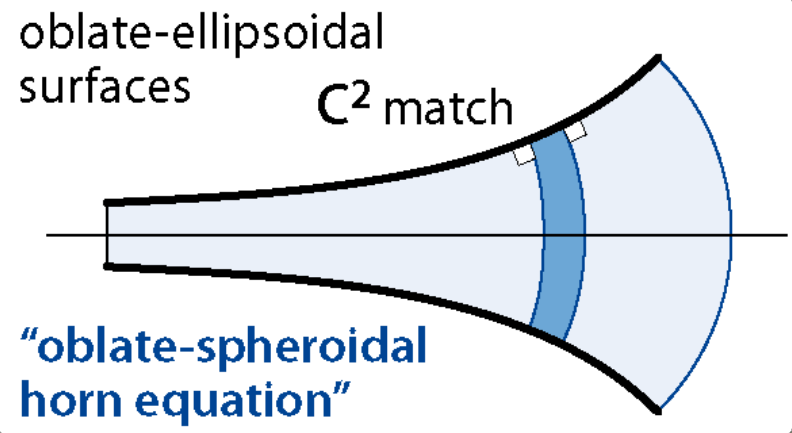
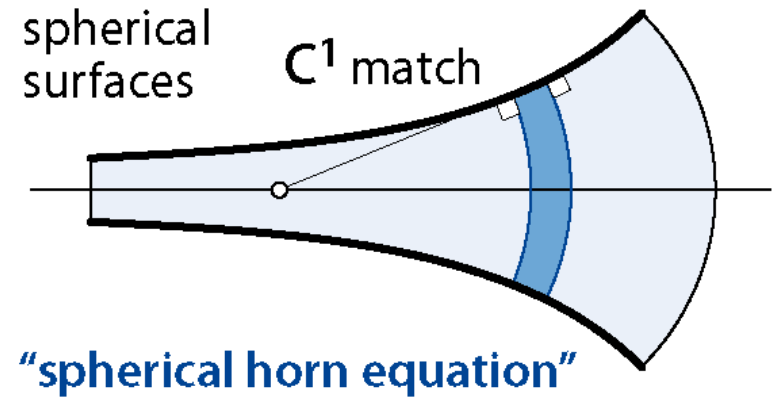
# Un pas més en les equacions d'ona unidimensionals.

L'equació d'ona unidimensional clàssica. Dues noves equacions d'ona unidimensionals

- s. XVIII: Bernoulli, Lagrange, Euler, ...
- s. XIX: Green, Helmholtz, ...
- s. XX: Rayleigh, Webster, ...



- Considera ones planes
- **No compleix la condició d'ortogonalitat de les superfícies equipotencials amb les parets del tub !!!**

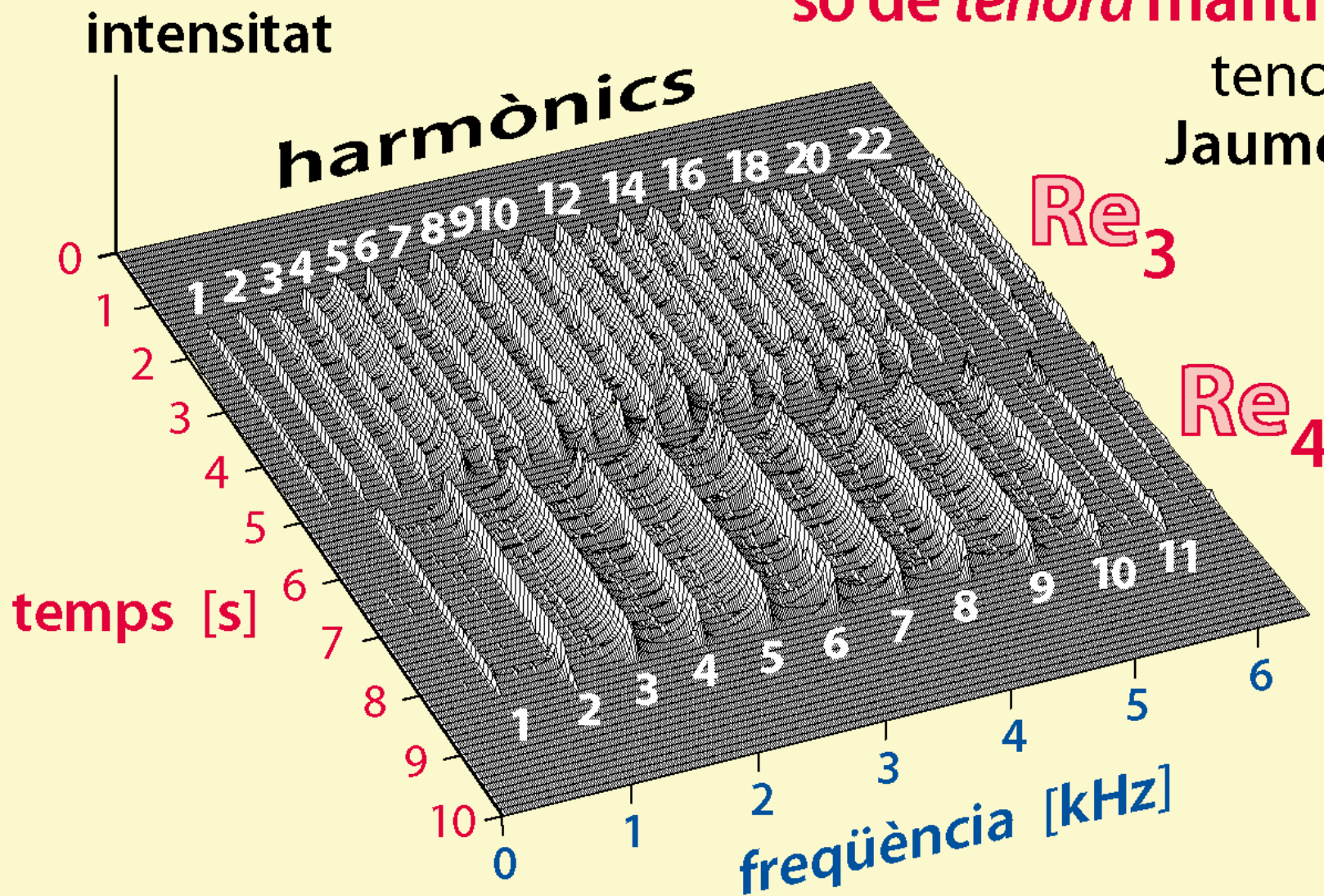


Agulló, J., Barjau, A., Keefe, D.H. (1999)  
"Acoustic Propagation in Flaring, Axisymmetric Horns: I. A New Family of Unidimensional Solutions."  
ACUSTICA-Acta Acustica. 85, 1999, pp. 278-284.

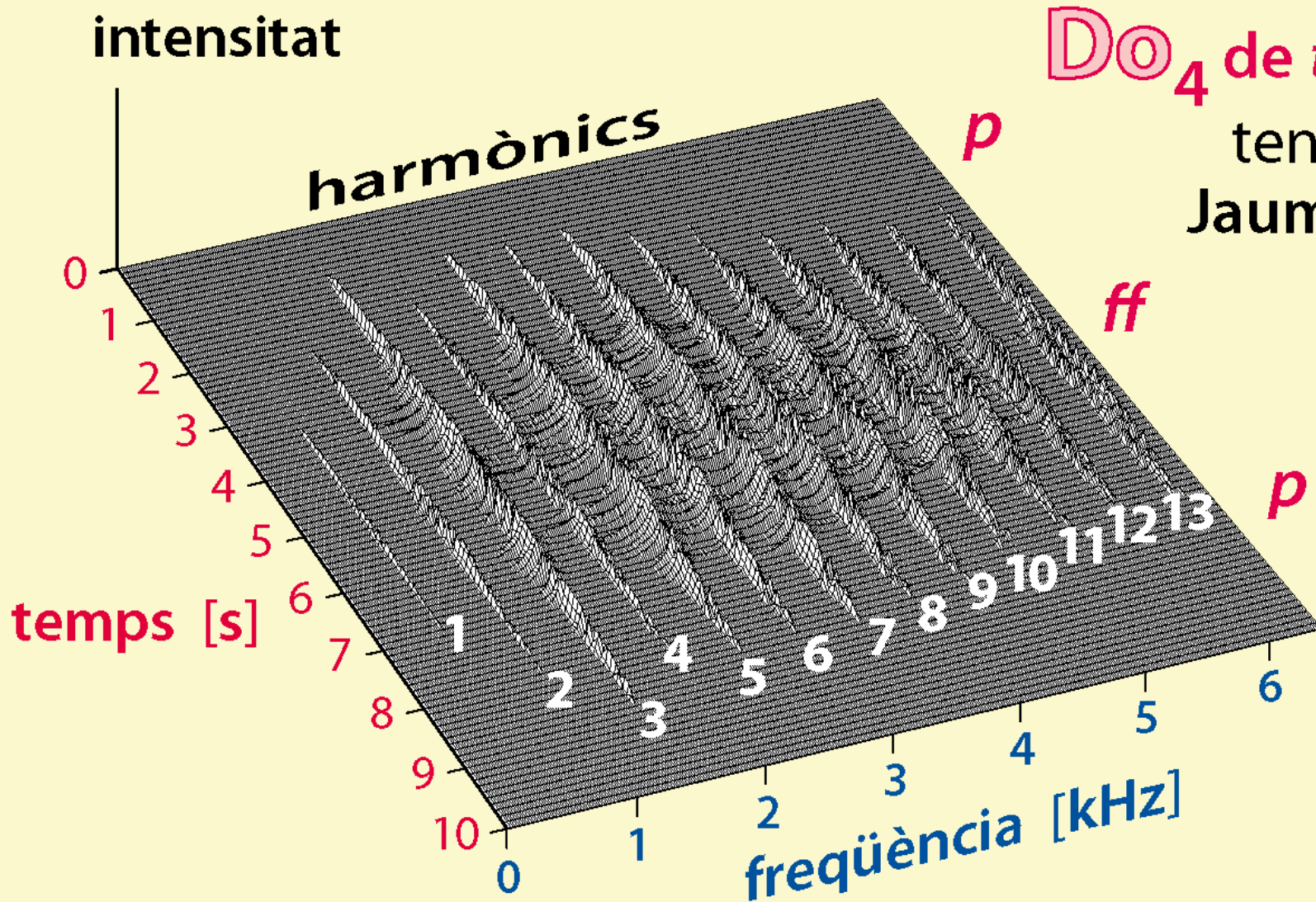
# Gran riquesa d'harmònics !

so de *tenora* mantingut

tenorista:  
Jaume Vilà



# El "timbre" canvia amb el "volum"



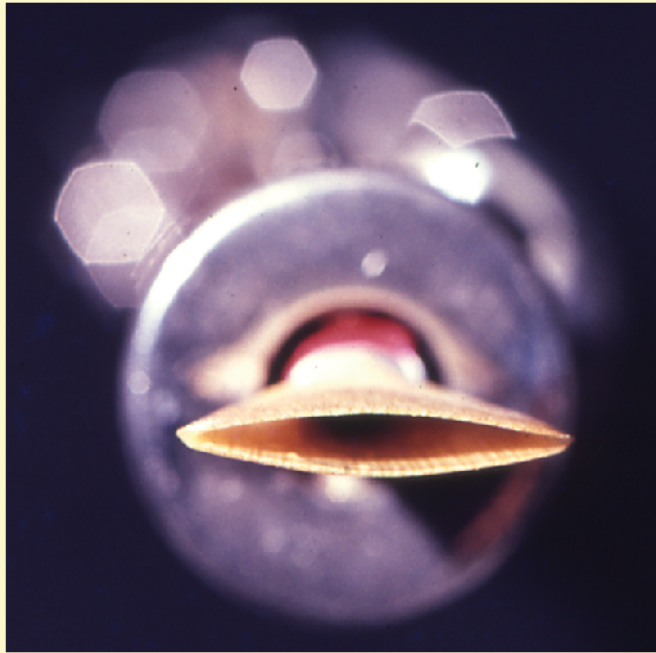
**D<sub>4</sub>** de *tenora*  
tenorista:  
Jaume Vilà

# Mesura de les ressonàncies d'un prototip de tenora



# La canya: porta d'entrada al caos determinista.

Producció del "rogall"  
emprat per comprovar  
l'adequació de les canyes.



Amb la canya no acoblada  
al'insrument:

En bufar-hi: **s'inicia un cabal d'entrada amb velocitat ceixent.**

En tractar-se d'un pas estret:  
**s'hi crea una depressió de Bernoulli que tendeix a tancar-la més.**

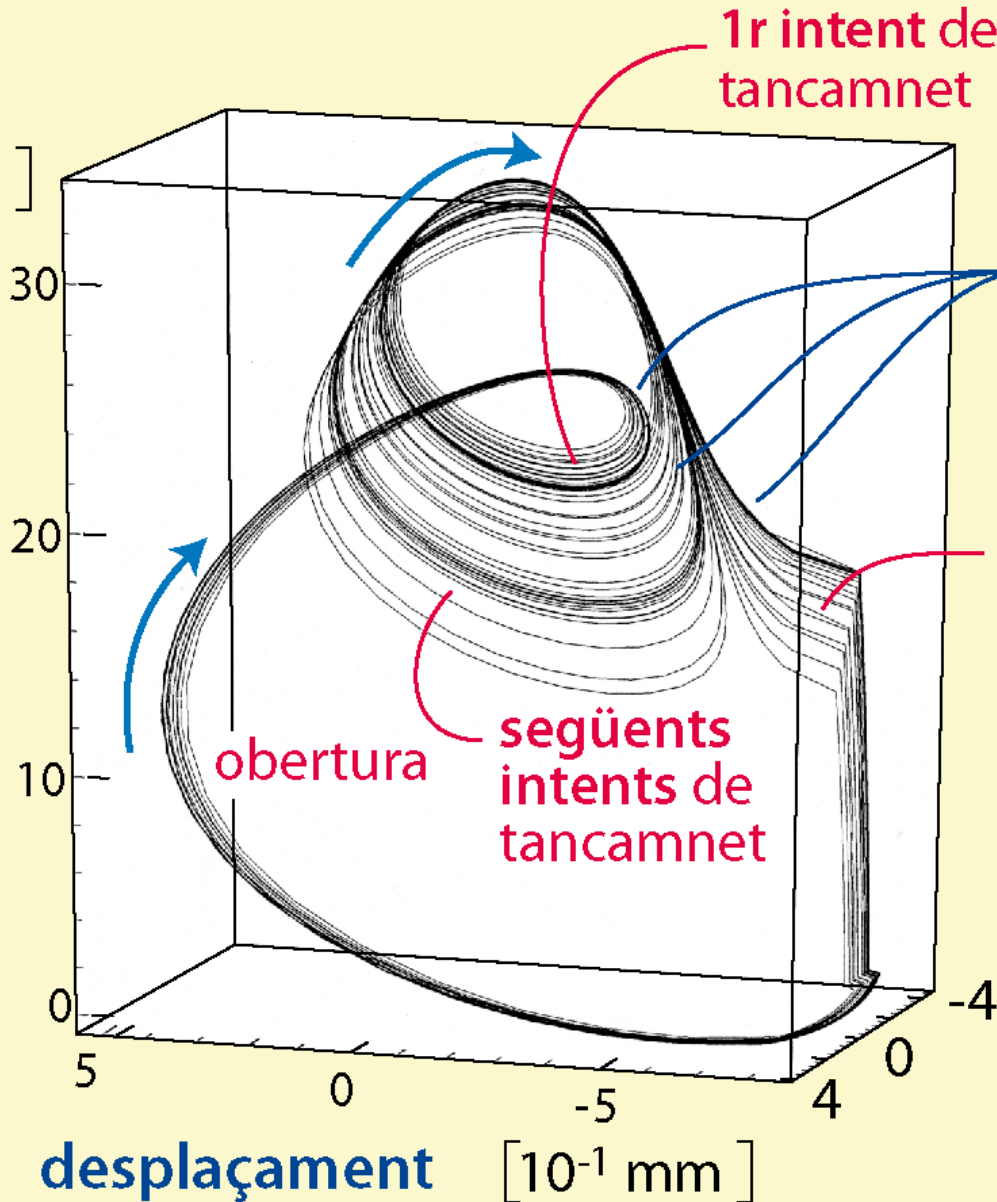
En tancar més: **augmenta la velocitat, la qual cosa reforça la depressió i el tancament.**

**El procés és inestable: en un o més cicles d'oscil·lació, tanca violentament la canya** creant-hi una breu i intensa depressió.

Sense cabal: la canya s'obra i el procés recomença.

# Simulació de l'atractor caòtic del rogal·l.

**cabal**  
[ $10^{-4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ]



**origen del caos determinista:**

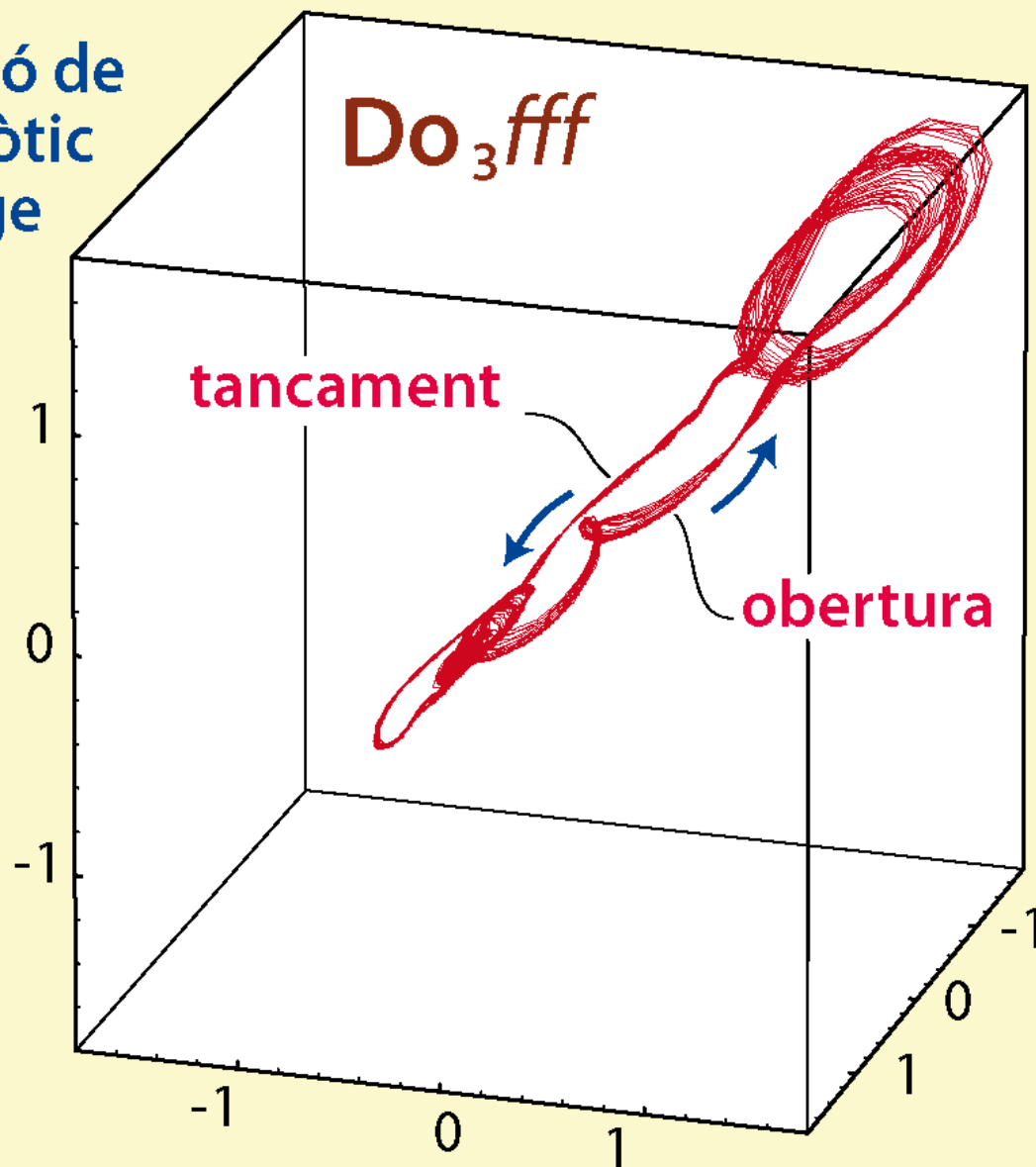
divergència de les trajectòries causada per la inestabilitat de la depressió de Bernoulli

**tancament**

**tancament erràtic en 2 o més cicles**

# Tenora, atractor de la pressió dins les llengüetes.

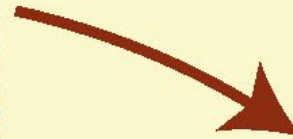
reconstrucció de  
l'atractor caòtic  
per decalatge  
temporal:



règim caòtic  
associat al  
tancament  
de la canya

48.000 punts  
 $\Delta t = 20 \mu s$

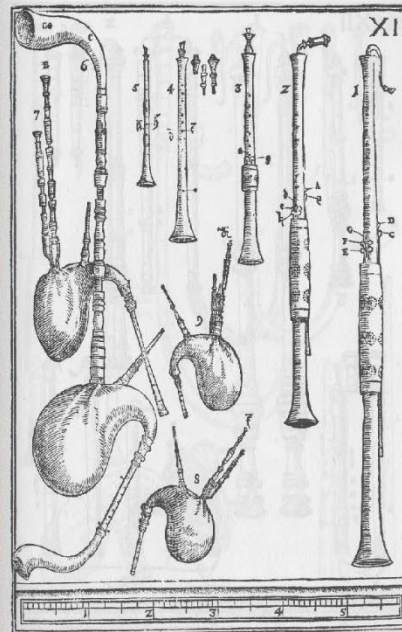




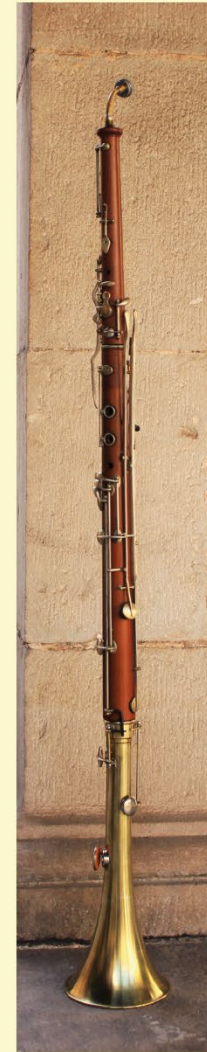
IMAGINARI 2021

J. Agulló

# Disseny científic d'instruments musicals ?



1. Bas Pommer.
  2. Basses oder Tenor Pommer.
  3. Alt Pommer.
  4. Dicke Schalmey.
  5. Klein Schalmey.
  6. Großer Pock.
  7. Schayer Pfeiff.
  8. Hämmerlein.
  9. Dudel.
- G ff



Joaquim Agulló Batlle  
IMAGINARI 2021