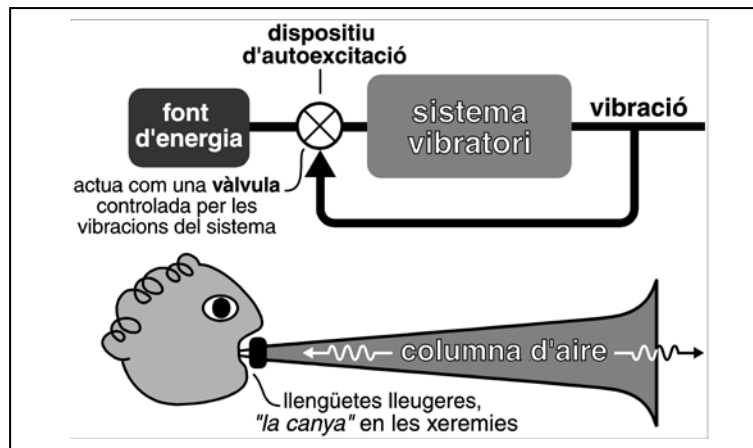


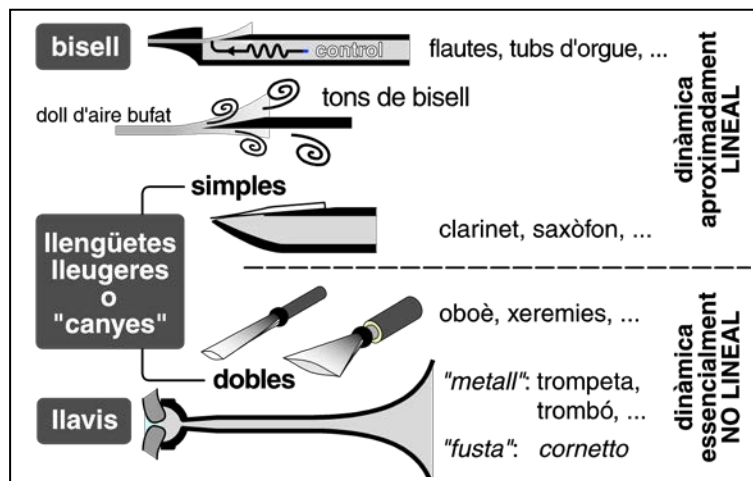
### 3. Cas dels instruments de vent. Les xeremies

Un cos vibrant format per aire –columna d'aire dins d'un tub o aire dins d'una cavitat–, en no poder rebre una quantitat d'energia adequada per mitjà de les condicions inicials i pel fet que la tramet ràpidament a l'aire exterior si hi està acoblat, no resulta adequat per fonamentar instruments musicals de règim lliure. Per aquest motiu, tots els instruments de vent són de règim autoexcitat (figura 3.1). La font d'energia és el buf de l'instrumentista, i el cos vibrant és la columna d'aire continguda dins el tub de l'instrument.



**Figura 3.1** Els instruments musicals de vent. Tots són de règim vibratori autoexcitat.

El dispositiu d'autoexcitació que fa que les seves vibracions controlin l'entrada d'energia (figura 3.2) està constituït per "la canya" o lengüetes lleugeres en el cas de les xeremies, del clarinet i dels saxòfons, els llavis en el cas dels "metalls" –trompetes, trombons, ... – i del *cornetto*, i la interacció del doll d'aire amb un bisell en el cas de les flautes i la majoria dels tubs d'orgue.



**Figura 3.2** Els mecanismes d'autoexcitació en els instruments musicals de vent.

L'acoblament amb l'aire està garantit per l'obertura en un l'extrem de l'instrument i per les altres obertures que pugui haver-hi.

En els instruments de lengüetes (figura 3.3), la vibració de l'aire entrant es tramet tub avall i, en arribar prop del primer forat obert –en els de fusta– o en l'extrem obert –en els de metall–,

es tramet en part a l'exterior en forma de so radiat, i en part es reflecteix tub endins. Aquesta reflexió, en arribar a l'extrem on hi ha les llengüetes, hi interacciona i és decisiva en el control de l'entrada d'energia.

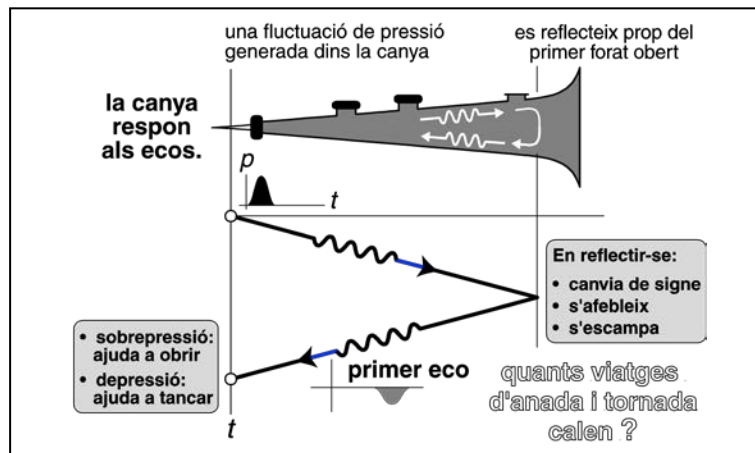


Figura 3.3 La canya, en els instruments de vent de llengüetes, respon als ecos.

Es pot dir que les llengüetes responen als ecos provinents de les obertures de la columna d'aire. Una fluctuació de pressió que es trasllada tub avall, en reflectir-se en una obertura, canvia de signe, s'afebleix i s'escampa. Sota aquestes condicions, quants viatges d'anada i tornada calen per tancar període?

Un cas paradigmàtic és el del clarinet, amb una canya simple que respon dòcilment a les variacions de pressió de les reflexions que li arriben (figura 3.4), i que usualment es manté oberta (només tanca del tot en el *règim batent*): una sobrepressió que baixa tub avall, retorna com a depressió que produeix un cert tancament a la canya; aquest tancament reforça la depressió que ara viatja tub avall i retorna com a sobrepressió que augmenta l'obertura de la canya; això fa entrar més aire a pressió i es crea així una sobrepressió que tanca el cicle. El període correspon a dos viatges d'anada i tornada. En certa manera actua com els motors de quatre temps.

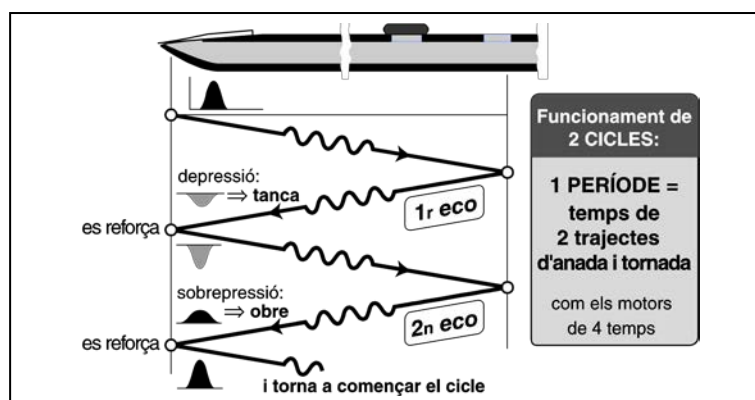
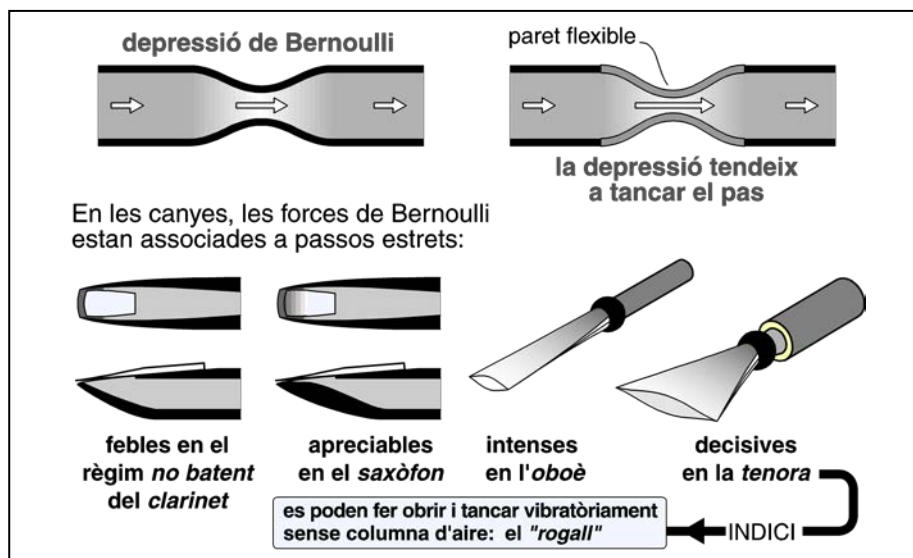


Figura 3.4 El paradigma del clarinet.

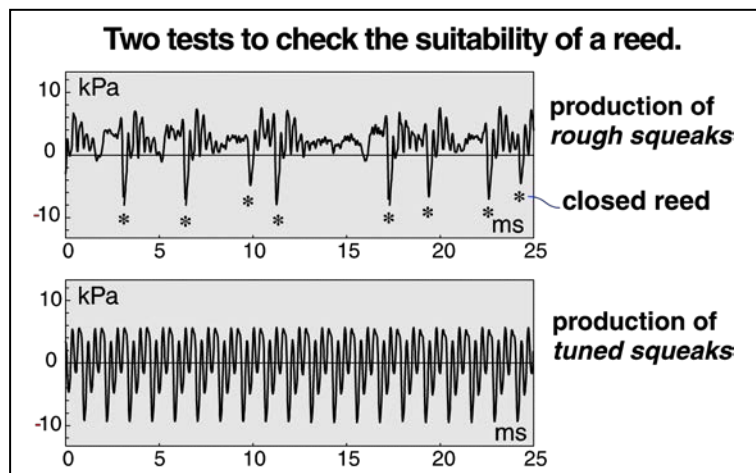
En les xeremies, però, es presenta una paradoxa: el període correspon a un sol viatge d'anada i tornada. Les reflexions que retornen no són reforçades sinó que determinen el tancament bruscat de la canya –cosa que genera una forta depressió– i un recomençament de cicle. És a dir, el control efectiu de la canya és responsabilitat del primer eco. Quina explicació té? Quines

forces ho permeten? La resposta la trobem en un aliat poderós, les depressions de Bernoulli (figura 3.5): si intercalem un estretament en un tub cilíndric amb cabal circulat, com que l'aire ha d'augmentar localment de velocitat, la pressió disminueix localment (per conversió d'energia potencial de pressió en energia cinètica). Si el pas estret és de paret flexible, aquesta depressió tendeix a tancar-la, amb la qual cosa es reforça la depressió i el tancament. En les canyes dels instruments, les depressions de Bernoulli estan associades a passos estrets: són febles en el *règim no batent* del clarinet, apreciables en el saxòfon (per causa de la forma interior de l'embocadura), intenses en la doble canya de l'oboè, i decisives en la doble canya de la *tenora*, com ho posa de manifest que es puguin obrir i tancar vibratòriament sense la columna d'aire de l'instrument en la producció del *rogall*.



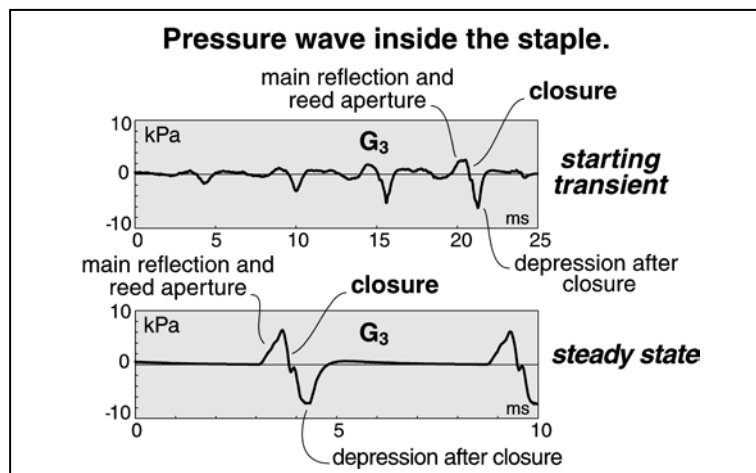
**Figura 3.5** Un aliat poderós en els instruments de vent amb llengüetes: les depressions de Bernoulli.

Per tal de provar l'adequació d'una canya de tenora per a la producció de les notes greus, se la fa sonar sense l'instrument, acoblada únicament al *tudell* (tub cònic curt que li fa de suport), i amb poca pressió dels llavis. El so produït, el *rogall*, és ronc. L'observació de les fluctuacions de pressió dins el *tudell* (figura 3.6) posa de manifest la presència de tancaments erràtics de la canya, que són produïts directament per la inestabilitat creada per la depressió de Bernoulli a l'interior de la canya. Tot i que aquesta inestabilitat arriba a tancar-la, no garanteix la periodicitat dels tancaments. És aquesta impredecibilitat que fa que el so produït sigui ronc.



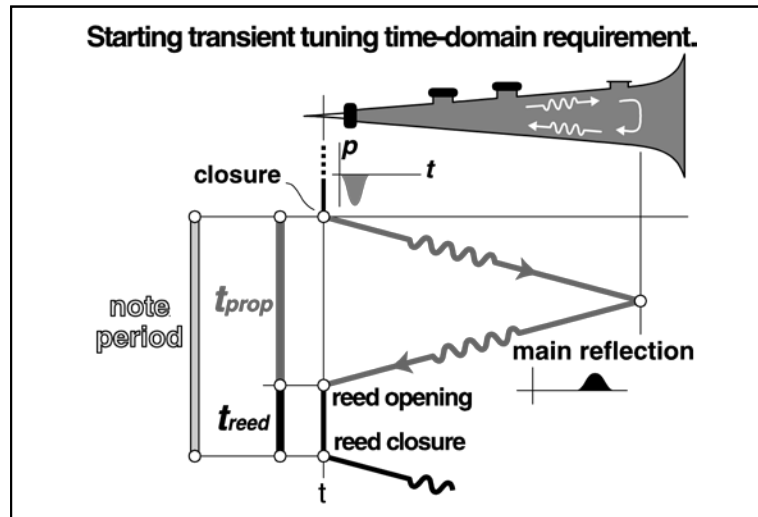
**Figura 3.6** Dues proves per a comprovar l'adequació d'una canya de tenora: els rogalls (*rough squeaks*) i els xiulets (*tuned squeaks*).

Les ones reflectides que es propaguen tub amunt (és a dir, vers la canya) actuen a la manera de marcapassos i regularitzen la producció de tancaments de la canya. L'observació de les fluctuacions de pressió dins del tudell en el *transitori d'atac* –inici d'una nota– (figura 3.7) fa evident aquest paper regulador. Una primera depressió –que retorna com a sobrepressió– n'ocasiona, per causa de la depressió de Bernoulli, una altra de més intensa, i així successivament fins arribar, en uns pocs cicles, al tancament complet. En règim permanent, s'observa com l'arribada de cada sobrepressió –reflexió de la intensa depressió ocasionada pel tancament bruscat de la canya– desencadena el ràpid procés de tancament, previ a una obertura que fa entrar aire a gran velocitat i que és responsable de la inestabilitat associada a la depressió de Bernoulli.



**Figura 3.7** Ona de pressió dins el tudell (*staple*) –lloc d'acoblament de la canya– de la tenora.

Així doncs, en les xeremies la condició per a l'afinació de l'atac d'una nota és que el període correspongui a la suma del temps invertit en un viatge d'anada i tornada, més l'interval de temps requerit pel procés d'obertura i tancament bruscat de la canya (figura 3.8). Mesures fetes en el conjunt de notes del primer registre de la tenora han posat de manifest que aquest interval, des de l'arribada de la reflexió fins al tancament de la canya, és molt aproximadament d'1 milisegon per a totes elles.



**Figura 3.8** El requisit d'afinació en transitori d'atac en una xeremia.

I quin paper hi juguen les ressonàncies de la columna d'aire? –ressonàncies corresponents a la condició de contorn d'extrem tancat a l'extrem on es troba la canya—. Si hi ha un mode propi intens de període proper al de la nota, la seva ressonància reforça la vibració a cada període fent més estable el règim permanent. Si, a més, hi ha altres modes propis amb freqüències harmòniques amb la d'aquest, col·laboren en l'establiment de la vibració i enriqueixen el timbre en aportar harmònics més intensos. Les freqüències de ressonància són, per tant, decisives en l'afinació de les notes mantingudes.