

Geluid : hoe en wat ?

Het moet zowat eind jaren '70 geweest zijn dat ik mij, mede door de opkomst van de Tascam en Fostex portastudio's en multitrackers, begon bezig te houden met het opnemen van instrumenten en geluiden. Wij waren jong en er werd al wat geëxperimenteerd zonder echt te weten hoe het nu echt moest. Toch was de honger naar informatie zeer groot, maar audio-technologie en akoestiek in het bijzonder, werden als uiterst vaag en ondoorzichtig gezien. Je had een handvol mensen die een volledige opleiding gevolgd hadden, maar daarnaast had je een hele hoop mensen die misschien wel eens iets over akoestiek gehoord of gelezen hadden, maar absoluut niet wisten hoe de vork in de steel zat. Bovendien was er over dit onderwerp geen enkel Nederlandstalig boek beschikbaar, en de Engelse en Duitstalige werken stonden boordevol wiskundige formules en tekeningen waarbij je de indruk kreeg dat je minstens een halve piloot of math-nerd moest zijn om nog maar de helft van de tekst te begrijpen. Het was pas in het midden van de jaren '80 dat Roland Desmet (opleiding BRT) een schitterend naslagwerk in het Nederlands op de markt bracht.

Als ik de theorie over geluid en akoestiek nader bekijk, ben ik er van overtuigd dat het moet mogelijk zijn om een goede leidraad te maken, zonder al te technisch te worden. Het is nu net mijn bedoeling om, via een reeks artikelen, een klare kijk te bieden op deze materie.

In de akoestiek heb je twee werkgebieden : allereerst de fysische en meetbare wereld, maar ook de subjectieve of psycho-fysische wetenschap : als je weet dat wij een geluid kunnen 'horen' door de verstoring van het evenwicht van luchtmoleculen, kom je al gauw tot het subjectieve gegeven dat wij niet kunnen meten wat elk van ons persoonlijk hoort. Het geluid van een viool zal door luisteraar A anders waargenomen dan luisteraar B, maar ook intensiteit- en klankkleurverschillen zijn nog een stuk moeilijker te definiëren. Net deze persoonlijke perceptie zorgt ervoor dat het voor de wetenschap heel moeilijk is om akoestiek louter academisch te bekijken. Toch zijn er over deze subjectieve materie heel wat interessante studies en werken verschenen. Maar in eerste instantie houden wij ons in deze artikelen reeks bezig met meetbare technologie.

1. Wat is Geluid

Zoals hierboven reeds vermeld kunnen we geluid omschrijven als het verstoren van het evenwicht van de moleculen in een vloeistof, vaste stof of gas. Wij zullen ons in deze studie beperken tot het bestuderen van geluid in lucht.

Stel de luchtmoleculen voor als vrij zwevende pingpongballetjes, wanneer je nu het eerste balletje in beweging brengt zullen ook de 2^{de}, 3^{de}, 4^{de}, ... balletjes beginnen bewegen. Dat wil zeggen : de beweging heeft zich voortgeplant. Mochten deze balletjes massaloos en onvervormbaar zijn, zou de voortplantingssnelheid oneindig zijn. Dat is echter niet het geval, vandaar dat geluid uitsterft (en gelukkig maar).

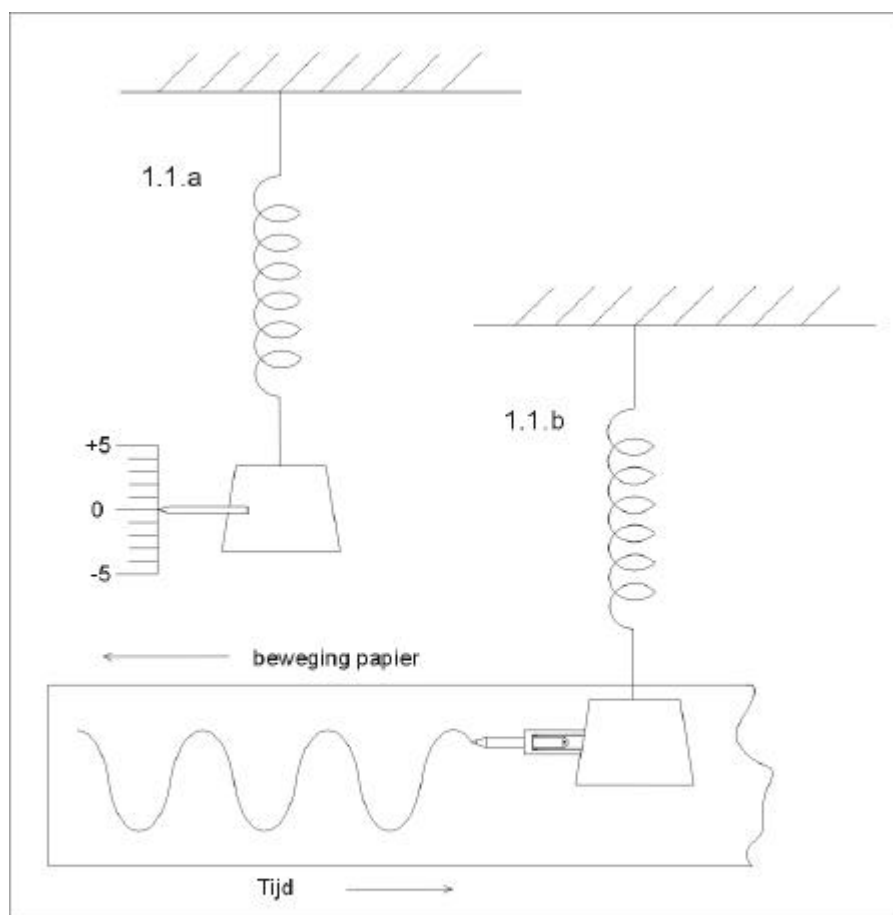
De voortplantingssnelheid van de evenwichtsverstoring is afhankelijk van de eigenschappen van de stof waaraan de energie toegevoegd wordt. IJzer bijvoorbeeld heeft een grotere voortplantingssnelheid van geluid dan een vloeistof of een gas.

Hier kan je al een eerste vraag stellen : zou er geluid zijn in het luchtledige ? Als je ooit de ruimtetuigen in Star Trek, Star Wars of andere sciencefiction programma's hoort voorbij zoeven zou je denken van wel. Niets is minder waar !

2. De sinusgolf

Geluid kunnen we best visualiseren door de sinusgolf. Hoe moeten wij ons een sinusgolf voorstellen ?

In figuur 1.1 kan je een gewicht zien dat aan een veer hangt. Brengen we de veer in beweging dan zal het gewicht op en neer dansen dank zij zijn massa en de veerkracht van de veer. Op de schaal zal je de maximale uitzetting of *amplitude* kunnen aflezen. Bevestig nu een pen aan het gewicht en laat deze pen schrijven op een papierrol die met een continue snelheid voortbeweegt. Op die manier krijgen we een sinus die ons de relatie tussen amplitude en tijd weergeeft.

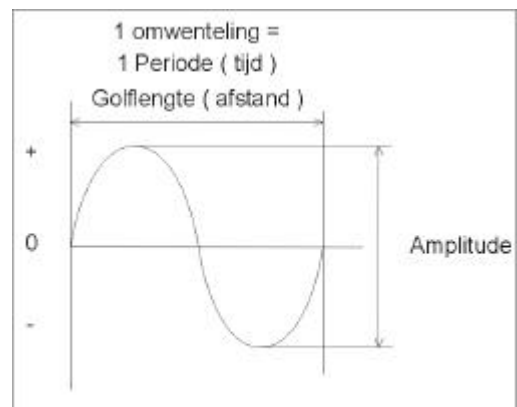


*Figuur 1.1a : een gewicht aan een veer vibreert op de natuurlijke frequentie van de veer.
1.1.b : door een pen aan het gewicht te bevestigen en over een gelijkmatig bewegend papier te laten schrijven krijgen we een mooi voorbeeld van een sinusgolf*

In figuur 1.2. kan je een voorstelling zien van 1 volledige beweging.

Deze grafische voorstelling toont ons een aantal waarden (grootheden) :

- ≪≪ de amplitude : de grootte van uitzetting,
- ≪≪ de golflengte ? (= lambda) : de exacte lengte die nodig is om 1 volledige cyclus af te leggen,
- ≪≪ de periode : de tijdsperiode die nodig is om 1 volledige cyclus af te leggen.



Figuur 1.2 : eigenschappen geluidsgolf

Tellen we nu het aantal trillingen per seconde dan krijgen we de *frequentie* f . Zo kan men stellen dat we bij 2 volledige trillingen per seconde een frequentie van 2Hz (Hertz) hebben. 200 bewegingen per seconde heeft een frequentie van 200Hz.

Zo kan het menselijk oor frequenties van 20Hz tot 20.000Hz (of 20kHz) waarnemen. Let wel, dit is sterk afhankelijk van persoon tot persoon. Je mag stellen dat mensen van gemiddeld 20 – 30jaar de 20kHz nog zullen halen, doch met het verouderen zullen de hoge tonen vrij snel afnemen. Ook het langdurig blootstellen aan hoge volumes zal het frequentieverloop van het gehoor sterk aantasten.

De periode is de tijdsperiode die nodig is voor 1 cyclus, dit kunnen we met volgende formule stellen :

$$\text{PERIODE} = \frac{1}{\text{Frequentie}}$$

De snelheid van geluid in lucht wordt algemeen aanvaard als 344m/sec. Deze waarde zal schommelen door de luchtdruk en de temperatuur. 344m/sec is in feite gemeten op een gemiddelde druk bij zeeniveau en een temperatuur van 21° Celsius.

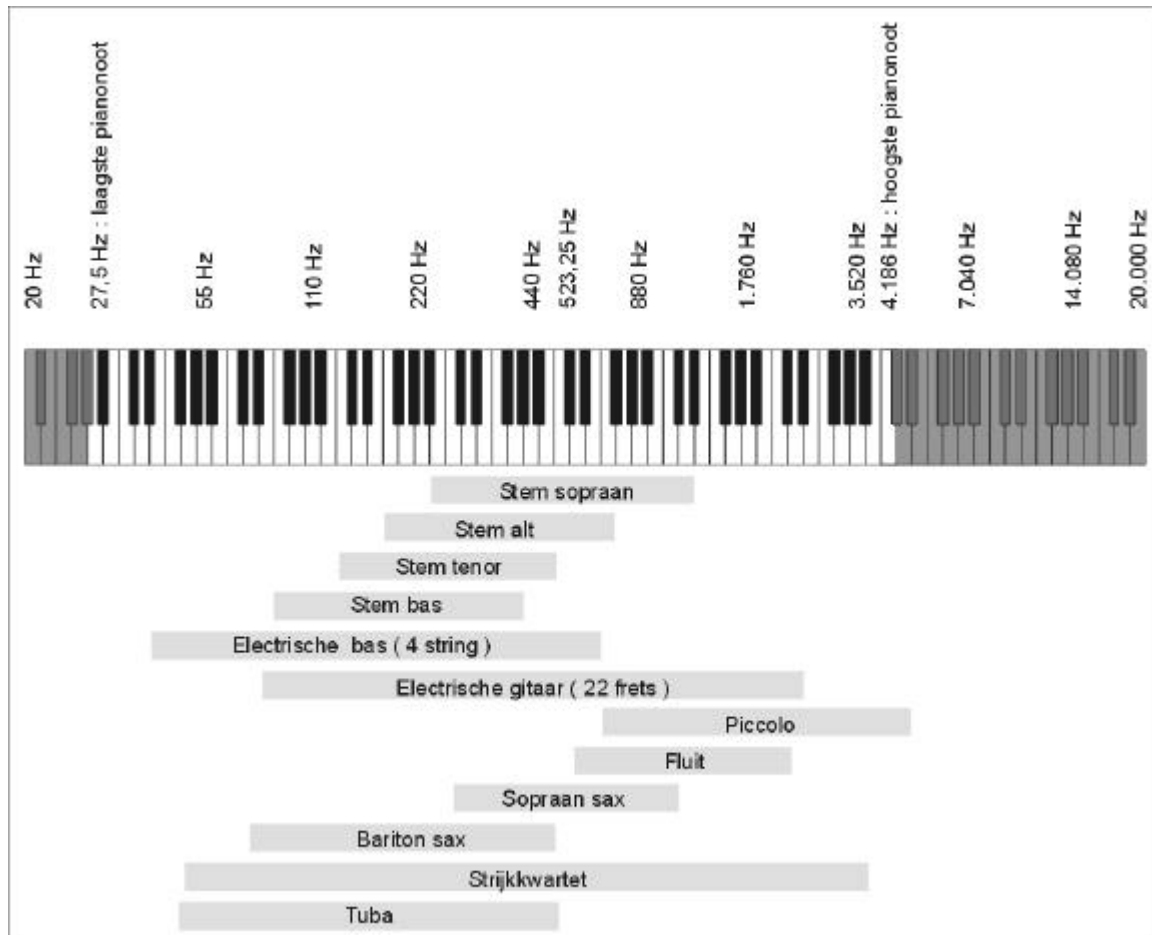
Willen we nu de golflengte van een bepaalde frequentie kennen, dan kunnen we volgende formule gebruiken :

$$\text{GOLFLENGTE } (\lambda) = \frac{\text{Geluidssnelheid}}{\text{Frequentie}}$$

Zo is de golflengte van 40Hz : $344\text{m/s} / 40\text{Hz} = 8,60\text{m}$
 de golflengte van 1kHz : $344\text{m/s} / 1000\text{Hz} = 0,34\text{m}$
 de golflengte van 20kHz : $344\text{m/s} = 1,72\text{cm}$

3. De harmonische

Elke noot heeft een eigen frequentie. De meest gekende is uiteraard de 440Hz (A4) . In figuur 1.3. kan je het frequentiebereik van stemmen en een aantal instrumenten zien.



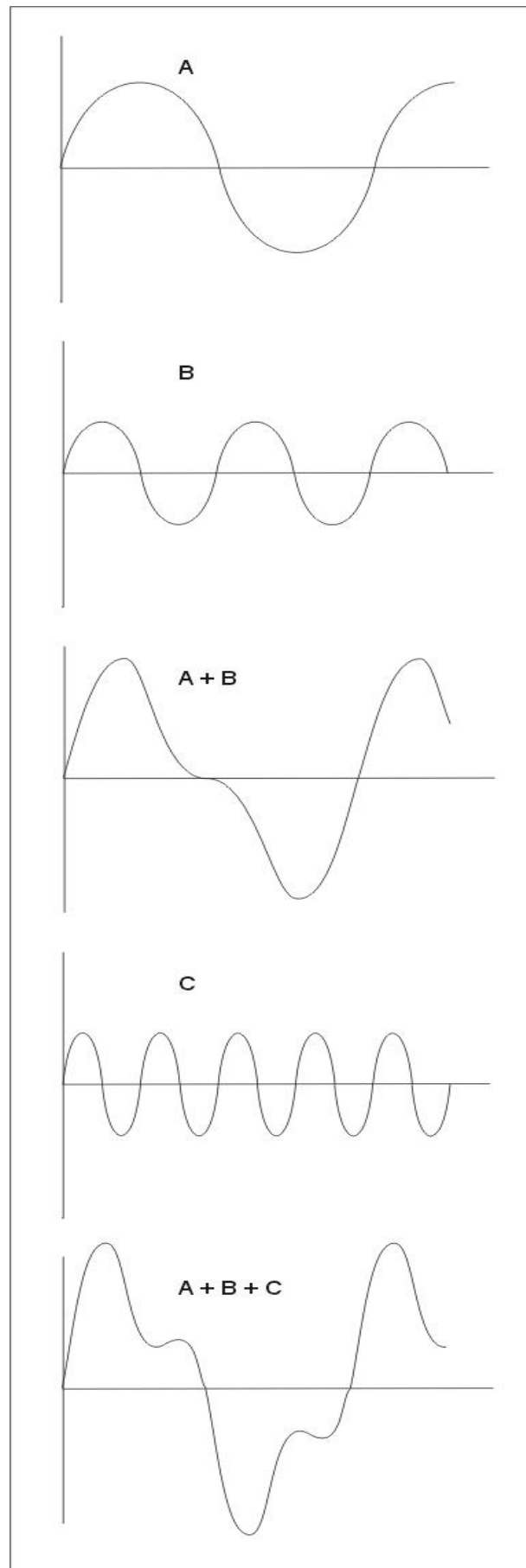
Figuur 1.3. : basisfrequenties van stemmen en enkele instrumenten

Wanneer we deze figuur aandachtig bekijken zullen we zien dat de frequentie van de eerste la (A0) 27,5Hz bedraagt. De volgende la (A1) heeft een frequentie van 55 Hz. Zo hebben A2, A3 en A4 respectievelijk de frequenties 110Hz, 220Hz en 440Hz. Hieruit kunnen we afleiden dat bij een octaaf de frequentie verdubbelt. Een dergelijke verdubbeling van de grondtoon noemen we in de akoestiek de *harmonische* of de *boventoon*. Zo spreken we over de 1^{ste} harmonische voor de grondtoon, de eerste verdubbeling wordt de 2^{de} harmonische en het drievoud : de 3^{de} harmonische genoemd.

Vergelijken we de harmonischen met octaven dan krijgen we volgende verhouding : harmonischen hebben een lineair verloop, octaven verlopen logaritmisch.

Harmonischen								
1e	2de	3de	4de	5de	6de	7de	8ste	9de
100Hz	200Hz	300Hz	400Hz	500Hz	600Hz	700Hz	800Hz	900Hz
Octaven								
100Hz	200Hz	400Hz	800Hz	1,6kHz	3,2kHz	6,4kHz	12,8kHz	25,6kHz
Grondtoon	Octaaf	Kwint	Octaaf	Grote terts	Kwint	Kleine septiem	Octaaf	Secunde

Neem nu 2 identieke stemvorken (bijv. 440Hz), sla 1 van beiden aan, en demp de aangeslagen stemvork, je zal horen dat de 2^{de} stemvork ook trilt. We kunnen een bijna gelijkwaardige proef doen met een piano : duw het demperpedaal (sustain) in, zodanig dat de dempers niet meer in aanraking met snaren komen; sla een noot aan, demp nu met de vingers de snaren van de aangeslagen noot. Je zal zien en horen dat de harmonischen ook zullen trillen. Dit wil zeggen dat bij het produceren van een grondtoon er ook harmonischen geproduceerd worden. In figuur 1.4. zien we de grondtoon (A) waar de 2^{de} harmonische (B) bij opgeteld wordt, dit resulteert in een reeds totaal verschillende sinusoïde vergeleken met het origineel. Voegen we bij die 2 de 3^{de} harmonische, dan zal de uiteindelijke curve terug een andere vorm krijgen.



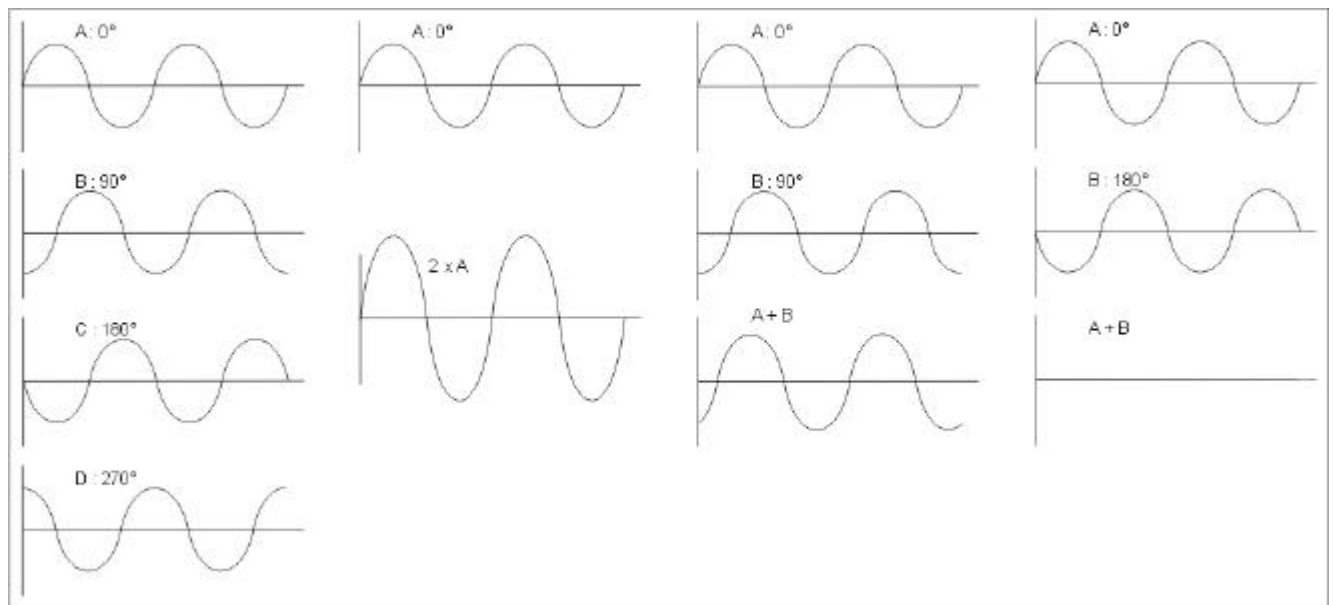
Figuur 1.4. : harmonischen

4. Fase

Een heel belangrijk aspect voor het combineren van verschillende sinusgolven is hun onderling tijdsverschil. In de vorige tekening starten alle golven allemaal vanuit het 0 punt. We spreken dan over een faseverschil van 0° of alle golven zijn *in fase*.

Wanneer 2 identieke bronnen met eenzelfde amplitude en frequentie optellen kan er op de plaats van captatie een onderling tijdsverschil ontstaan.

In figuur 1.5 zien we een verhoudingsoverzicht.



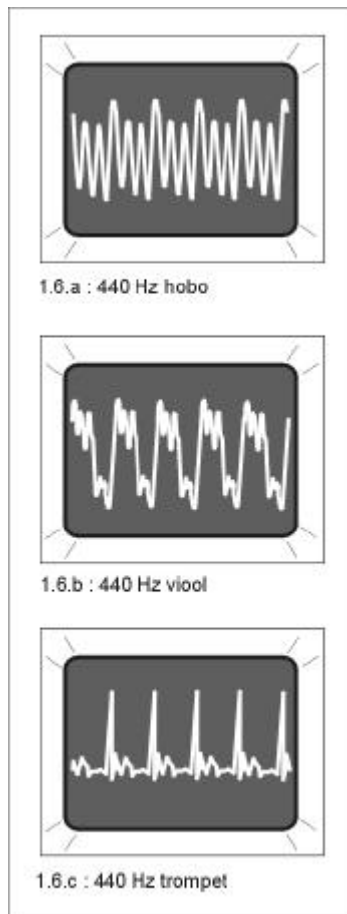
Figuur 1.5. : fase een heel belangrijk aspect bij het optellen van frequentiecurves

Is de fase 0° dan blijft de toon onveranderd, maar de amplitude verdubbelt.

Is de fase 90° dan krijgen we een sinusoidie met een amplitude van +/- 1.4 maal één enkele golf.

Is de fase 180° dan zullen beide bronnen mekaar opheffen !

De combinatie van fase en boventonen zal er nu net voor zorgen dat we een verschil horen tussen een A4 van een viool, gitaar, bas, trombone, enz... . Ook spraakherkenning danken we aan deze verhouding.



In figuur 1.6. zien we een vergelijking van 3 verschillende instrumenten die elk eenzelfde basisfrequentie (noot) produceren.

- ⚡⚡ Bij de hobo zien we steeds een eerste piek (te wijten aan de basisfrequentie van het riet), de 2 kleinere pieken zijn harmonischen.
- ⚡⚡ Bij de viool zien we dat de pieken even ver uit elkaar staan als bij de hobo. Dit bewijst dat beide instrumenten dezelfde noot spelen (gelijke frequentie). De combinatie van harmonischen is veel complexer dan bij de hobo.
- ⚡⚡ Bekijken we de trompet, dan zien we een zeer sterke piek (het aanblazen) met een heel complex geheel van boventonen op een veel lagere amplitude.

Willen we nu nog wat verder experimenteren kunnen we eens proberen om bij deze 3 geluiden vanaf 500Hz alle hoog af te snijden. Het resultaat zal zijn dat we plotseling de hobo praktisch niet meer van de viool kunnen onderscheiden, bij de trompet zal er wat meer herkenning zijn door het percussief aanblazen.

Figuur 1.6. : sinusgolf van 3 verschillende instrumenten