

# Analiza timbrală și registrele clarinetului în Sib / Timbral analysis and registers of B flat clarinet

Cristian MIHĂESCU

Academia de Muzică „Gh.Dima” Cluj-Napoca / Academy of Music „Gh. Dima” Cluj-Napoca, România  
cristian.mihaescu.at@gmail.com

## REZUMAT

*Prezenta lucrare are la bază un studiu de caz focalizat pe analiza timbralității clarinetului în Sib, pe baza reprezentării spectrografice a frecvențelor. Plecând de la registrele și subregistrele identificate prin această analiză, s-a încercat conturarea unui model de reprezentare a unui clarinet virtual care să utilizeze cât mai puține eșantioane, fără pierderi semnificative ale identității instrumentului real.*

## Cuvinte cheie

Instrument virtual, clarinet, timbru, registru timbral, analiză spectrografică.

## INTRODUCERE

Importanța și influența tehnologiilor informaționale, a mediului virtual în activitatea muzicală sunt din ce în ce mai apreciate, plusul de valoare cantitativă și calitativă fiind de necontestat. Este cunoscut faptul că integrarea lor în sistemul educațional muzical potențează abilitățile practice ale studenților și, mai ales, capacitatea lor de a înțelege muzica, în principal, datorită posibilității de a investiga, la nivel de detaliu, sunetul și structura acestuia (Nedelcuț, 2011) sau oferind chiar analize mai complexe de interpretare, semnalând problemele aferente, puncte forte/slabe etc. (Yung, Nedelcuț, 2015). În acest sens, crearea și utilizarea instrumentelor virtuale, ca o alternativă la instrumentele reale, nu face decât să ofere oportunități sporite, nu numai în învățarea sau redarea muzicii, dar, mai ales, componistice și de creație, punând la dispoziție o bibliotecă enormă de sunete la care recurg din ce în ce mai frecvent compozitorii contemporani (Pop, 2011; Bence-Muk, 2013).

Prezentul studiu de caz se înscrie în această direcție a creării instrumentelor virtuale, clarinetul fiind instrumentul ales pentru analiză și virtualizare.

## Clarinetul

Este un instrument muzical cu o singură ancie și corp cilindric, ce face parte din categoria instrumentelor de suflat din lemn. Originile lui datează din perioada barocă, Germania, în jurul anilor 1700 (dar cu strămoși din perioada antică) (Hoeprich, 2008). Clarinetul modern provine, cu adaptări și evoluții în timp, dintr-un instrument numit *Chalumeau*. Clarinetul în Sib (Bb) este modelul cel mai des utilizat, familia clarinetului

## ABSTRACT

*This paper is based on a case study focused on the timbre analysis of the clarinet in Bb, based on the spectrographic representation of the frequencies. Starting from the registers and sub-registers identified by this analysis, we were able to outline a model representation of a virtual clarinet that uses as few samples as possible, without significant identity loss of the real instrument.*

## Keywords

Virtual instrument, clarinet, timbre, timbre register, spectrographic analysis.

## INTRODUCTION

The importance and influence of information technologies, of the virtual environment, in the musical activity is more and more appreciated, the quantitative and qualitative added value being undeniable. It is well known that their integration into the music education system enhances the students' practical skills and, above all, their ability to understand music, mainly because of the possibility of investigating, in detail, the sound and its structure (Nedelcuț, 2011) or by presenting even more complex interpretation analyses, revealing related issues, strengths / weaknesses, etc. (Yung, Nedelcuț, 2015). In this respect, the creation and use of virtual instruments as an alternative to real instruments offer opportunities not only for learning or playing music but especially for composing and creating music, providing an enormous sound library which contemporary composers increasingly employ (Pop, 2011; Bence-Muk, 2013).

The present case study revolves around the idea of creating virtual instruments, the clarinet being the chosen instrument for analysis and virtualization.

## The clarinet

The clarinet is a musical instrument with a single reed and a cylindrical tube, which is part of the woodwind instruments category. Its origins date from the Baroque period, in Germany, around the 1700s (with ancestors in ancient times, however) (Hoeprich, 2008). The modern clarinet developed, with certain adaptations and evolutions over time, from an instrument called *Chalumeau*. The clarinet in Bb is the most commonly

cuprinzând mai multe tipuri: clarinetul în Sib, clarinet în la, clarinetul bas, clarinetul mic, clarinetul alto etc.

Fiind un instrument foarte flexibil, clarinetul este folosit nu doar în orchestra simfonică, ci și în formații de jazz, muzică ușoară, fanfare, muzică de cameră, muzică populară sau diverse formații instrumentale. „The clarinet, more capable than any other woodwind instrument to produce all the dynamic shadings from a whispered *pp* to a crying *ff* can therefore reproduce the finest nervous impulse of a melody entrusted to it within the well-balanced framework of the modern orchestra” (Berlioz, Strauss, 1948:213).

Corpul lui, format din mai multe părți componente, (vezi figura 1) poate fi din lemn, plastic, metal, rășină sau ebonită, fiecare având alte caracteristici acustice. Muștiucul se fabrică din ebonită, lemn, metal sau chiar plastic. Ancia poate fi sintetică sau naturală. Toate aceste materiale, precum și sistemul complex de clape, contribuie substanțial la calitatea timbrală a instrumentului.

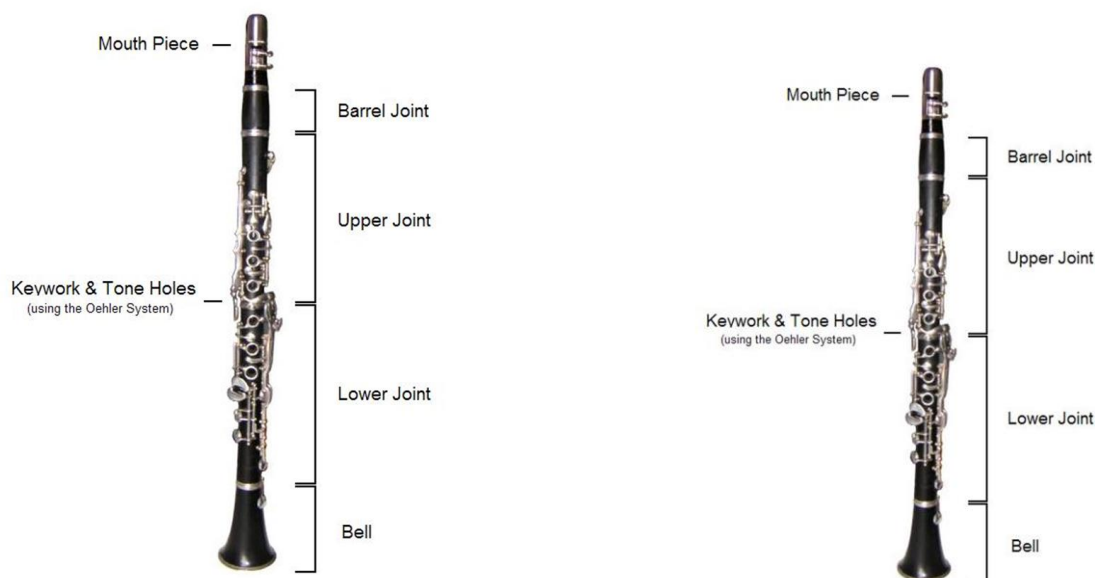


Figura 1. Părțile componente ale clarinetului (sistemul Oehler (sursa wikipedia))

Timbrul clarinetului este puternic influențat de materialele din care este construit instrumentul. Sfera timbrală este foarte mare, de la dramatic, amenințător în registrul grav, la sunete scânteietoare, luminoase în registrul acut (Crețu, 2007).

Ne vom axa în continuare pe registrele clarinetului în Si bemol, încercând, pe baza reprezentării spectrografice, să identificăm modulațiile în amplitudinea sunetelor clarinetului, la diferite frecvențe. Pe baza acestor date, vom încerca, în partea a doua, să conturăm un model de clarinet virtual, care să redea cât mai fidel sunetele clarinetului real, în condiții de economie informativă.

Efectul clarinetului în Sib este cu un ton mai jos decât notația din partitură, dar analiza ia în considerare sunetele reale.

Așa cum am mai precizat și în celelalte articole referitoare la instrumentele virtuale, menționăm că demersul nostru face parte dintr-o analiză mai complexă

used type, the clarinet family including several other types: the clarinet in Bb, the clarinet in A, the bass clarinet, the piccolo clarinet, the alto clarinet, etc.

Being a very flexible instrument, the clarinet is used not only in the symphonic orchestra, but also in jazz bands, popular music, fanfare, chamber music, folk music or various instrumental bands. “The clarinet, more capable than any other woodwind instrument to produce all the dynamic shadings from a whispered *pp* to a crying *ff*, can therefore reproduce the finest nervous impulse of a melody entrusted to it within the well-balanced framework of the modern orchestra” (Berlioz, Strauss, 1948: 213).

Its body consisting of several components, (see Figure 1) may be of wood, plastic, metal, resin or hard rubber (ebonite), each having different acoustic features. The mouthpiece is made of hard rubber, wood, metal or even plastic. The reed may be synthetic or natural. All these materials, as well as the complex key system, make a substantial contribution to the timbre quality of the instrument.

Figure 1. The structure of the clarinet (Oehler system) (retrieved from Wikipedia)

The clarinet’s timbre is strongly influenced by the materials from which the instrument is built. The timbre sphere is wide, from a dramatic, threatening one in the low register, to sparkling, bright sounds in the high register (Crețu, 2007).

We further focus on the registers of the Bb clarinet, trying, based on the spectrographic representation, to identify the modulations in the amplitude of the clarinet sounds over different frequencies. On the basis of these data, we will try, in the second part, to outline a model of a virtual clarinet, which will render faithfully the sounds of the real clarinet under the auspices of moderation.

The Bb clarinet sounds one whole tone lower than the notation in the score, but the analysis takes into account real sounds.

As we have already mentioned in other articles on virtual instruments, our approach is part of a more complex analysis regarding the timbre equivalences of symphonic



of the bore”, *registru mediu*, “the clarion or clarino (middle)”, se întinde de la Si4 la Do6, și *registru* “the *altissimo*”, ce se întinde de la Do#6 până în jurul notei Do7. O viziune diferită se întâlnește la Casella și Mortari (2004), autorii descriind două registre principale: *registru grav*, care produce sunetele fundamentale, cu efect amenințător, dramatic, întunecat și *registru acut*, un registru cald, scânteietor, tăios, aceste registre fiind redată în imaginea de mai jos.



Figura 3. Registrele clarinetului la A. Casella și V. Mortari (2004)

### 3. Analiza spectrografică

Pentru realizarea analizei spectrografice au fost capturate în formă digitală toate sunetele unui clarinet real. Dintre acestea, au fost selectate șapte sunete de pe întreg ambitusul instrumentului. După cum se poate observa și din figura de mai jos, analiza spectrală a frecvențelor celor șapte eșantioane timbrale confirmă acea teorie privind existența a două registre (vezi figura 4).

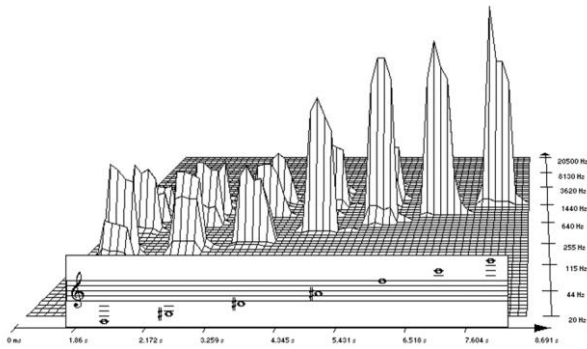


Figura 4. Analiza spectrografică pe întregul ambitus al clarinetului în Sib

Un prim registru grupează eșantioanele timbrale cu amplitudini mici și plajă mare a frecvențelor (primele trei repere), punând în evidență bogăția timbrală a acestui prim registru. Al doilea registru este caracterizat de amplitudini mari și o plajă a frecvențelor din ce în ce mai îngustă. Se pot observa tonurile pătrunzătoare și ascuțite, caracteristice acestui registru secund.

Zona de delimitare a celor două registre apare în grafic între reperele 3-4 (*re#-la#*) (vezi figura 5).

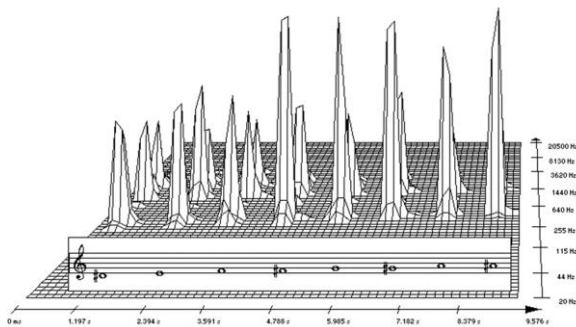


Figura 5. Zona de delimitare între registre

of vibration of the air column defined by the effective length of the bore,” the *middle register*, “the clarion or clarino (middle)” ranges from B4 to C6, and the “*altissimo*” register, ranging from C # 6 to around C7. A different view is found in Casella and Mortari (2004), the authors describing two main registers: the low register, which produces the fundamental sounds, having a



threatening, dramatic and dark effect, and the high (acute) register, a warm, sparkling, sharp one; these registers are presented in the image below.

Figure 3. Registers of the clarinet according to A. Casella and V. Mortari (2004)

### 3. Spectrographic analysis

To carry out the spectrographic analysis, all the sounds of a real clarinet were captured in digital form. Of these, seven sounds were selected from the entire range of the instrument. As can be seen in the figure below, the spectral analysis of the frequencies of the seven timbre samples confirms the theory of the existence of two registers (see Figure 4)

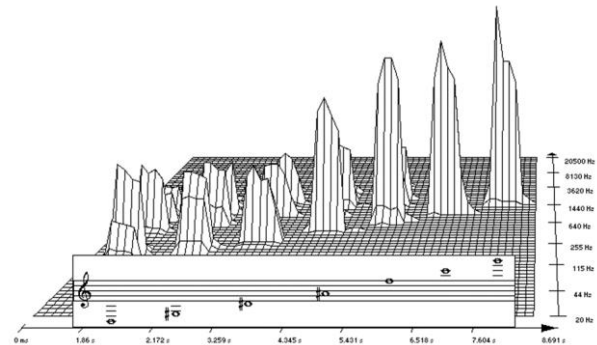


Figure 4. Spectrographic analysis of the entire range of the clarinet in Bb

A first register groups the timbre samples with low amplitude and high sweep of frequencies (the first three markers), highlighting the timbre richness of this first register. The second register is characterized by large amplitudes and a narrower range of frequencies. Note the sharp and penetrating notes of this second register.

The delimitation area of the two registers appears in the graph between markers 3-4 (D # -A # ) (see Figure 5).

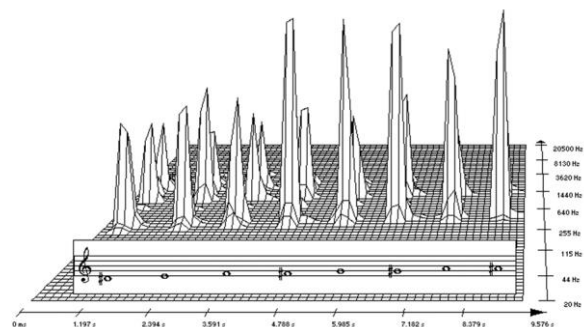


Figure 5. Delimitation area between registers



În mod evident, din analiza tuturor sunetelor care cuprind acest interval-tampon rezultă că cel de al doilea registru al clarinetului debutează pe reperul 4 (*fa#*).

În cazul registrului acut poate fi semnalată existența a două subregistre, pragul de delimitare fiind situat la nivelul reperelor 3-4 (*re-mib*) din graficul de mai jos (vezi figura 6).

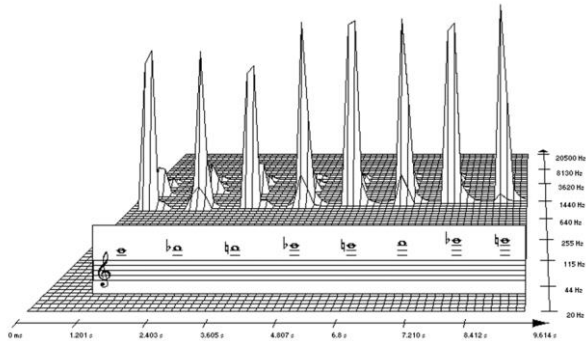


Figura 6. Zona de delimitare între subregistre

Astfel, în conformitate cu analiza efectuată, împărțirea pe registre a clarinetului în *Sib* după modelul informatic este următoarea (vezi figura 7):



Figura 7. Împărțirea pe registre la clarinet conform analizei spectrografice tridimensionale

## II. Instrumentul virtual

### 1. Crearea unui instrument virtual

Procedeele creării unui instrument virtual presupune capturarea, într-un studio, a fiecărui sunet al instrumentului real, pe întregul ambitus. Apoi, folosind spectrogramele tridimensionale de frecvențe, se stabilesc registrele și subregistrele instrumentului respectiv și, implicit, eşantioanele reprezentative. Ele vor forma în final, prin eventuale translații, acolo unde este cazul, instrumentul virtual.

Pentru economisirea memoriei de stocare a instrumentului virtual, se pot realiza următoarele procedee: compresia eşantioanelor capturate sau alegerea unui număr redus de eşantioane și extinderea fiecăruia pe un interval format din note alăturate. În cazul în care se optează pentru limitarea eşantioanelor, alegerea acestora trebuie făcută cu mare finețe și discernământ pentru evitarea pierderii identității timbrale a instrumentului real, dar și pentru a evita schimbările abrupte de timbralitate. Există riscul ca, prin folosirea unui singur eşantion și translatarea lui pe întregul ambitus, instrumentul să își piardă din identitatea timbrală, pe măsură ce sunetul se depărtează tot mai mult spre margini.

În zonele de trecere dintre registre și subregistre, schimbările timbrale pot fi considerabile, uneori chiar bruște, necesitând preluarea unui număr mai mare de eşantioane. Prin urmare, pentru a evita discordanțele timbrale datorate modificărilor bruște între sunetele alăturate, (sesizabile auditiv și deranjante), densitatea

Obviously, from the analysis of all the sounds that comprise this buffer interval, it follows that the second register of the clarinet starts on the 4<sup>th</sup> marker (*F #*).

In the case of the high register, we notice the existence of two sub-registers, the delimitation threshold being on the level of markers 3-4 (*D-E b*) in the graph below (see Figure 6).

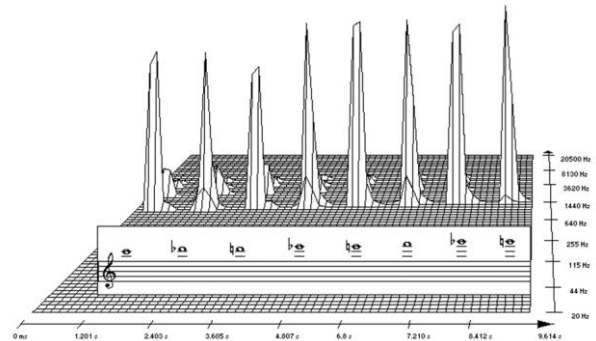


Figure 6. Delimitation area between sub-registers

Thus, according to the analysis carried out, the distribution into registers of the clarinet in *Bb* according to the virtual model is the following (see Figure 7):



Figure 7. Division into registers of the clarinet according to three-dimensional spectrographic analysis

## II. Virtual instrument

### 1. The creation of a virtual instrument

The process of creating a virtual instrument involves recording in a studio each sound of the real instrument over its entire range. Then, using the three-dimensional frequency spectrograms, the registers and sub-registers of the instrument are established and, implicitly, the representative samples are selected. They will eventually form, by possible translations, where appropriate, the virtual instrument.

To save the storage of the virtual instrument, the following procedures may be performed: compressing the captured samples or choosing a small number of samples, and expanding each over an interval formed of adjacent notes. When choosing to limit the samples, their choice must be done with great finesse and discernment to avoid the loss of the timbre identity of the real instrument but also to avoid abrupt changes in timbre quality. There is a risk that by using a single sample and translating it across the ambitus, the instrument might lose its timbre identity as the sound moves further away to the edges.

In the transition between registers and sub-registers, timbre changes may be considerable, sometimes even abrupt, requiring the retrieval of a larger number of samples. Therefore, in order to avoid timbre discordances due to sudden changes between the adjoining sounds

eșantioanelor reprezentative va fi neuniformă pe întreaga întindere a instrumentului.

Figura următoare prezintă schema generală de creare a unui instrument virtual, utilizând patru eșantioane ale unui instrument real. Reluăm mai jos schema și explicația descrisă și în cazul analizei și creării flautului virtual, acestea fiind importante pentru coerența și înțelegerea modului de realizare a instrumentului virtual analizat în prezentul articol.

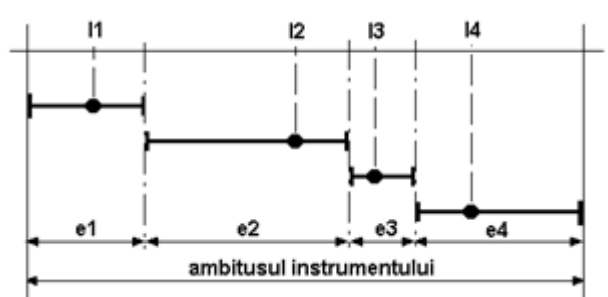


Figura 8. Schema generală a unui instrument virtual

Cercul umplute reprezintă eșantioanele, respectiv cele patru sunete reale alese dintre toate sunetele capturate, care au înălțimile  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  și  $I_4$ . Acestea au fost traduse în sus și în jos, obținându-se segmentele  $e_1$ ,  $e_2$ ,  $e_3$  și  $e_4$ , fiind acoperit în acest caz întregul ambitus al instrumentului virtual.

Schema de creare a unui instrument virtual de mai sus reprezintă un caz oarecum ideal. În realitate, în zonele de trecere dintre registre și subregistre, așa cum am menționat mai sus, eșantioanele vor fi mai dese, iar segmentele de traducere mai înguste, pentru a se asigura o trecere fină, complexă.

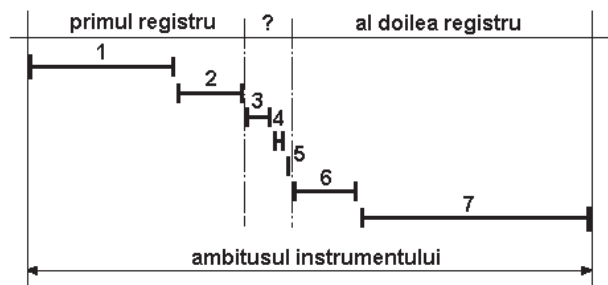


Figura 9. Adaptarea numărului de eșantioane

În concordanță cu cele două registre identificate, în următoarea etapă s-a trecut la adaptarea adecvată a numărului de eșantioane, a densității și zonelor de traducere, reprezentate în figura de mai sus. Cu semnul întrebării s-a marcat o zonă, pe care am numi-o „sensibilă”, de delimitare registrală, relativ îngustă, în care numărul de eșantioane este la fel de mare ca și în restul ambitusului. Pot să apară și cazuri (similare eșantionului 5) în care un eșantion să fie dedicat unui singur sunet, adică netradus. Eșantioanele 4 și 5 vor realiza o trecere extrem de fină spre următorul registru.

## 2. Crearea Clarinetului virtual în Sib

Analiza spectrografică tridimensională a frecvențelor timbrului clarinetului denotă o împărțire pe registre asemănătoare cu unele modele amintite în prima parte, adică se conturează două registre principale. Al doilea registru se poate împărți, opțional, în două subregistre, deoarece ultimele sunete acute prezintă caracteristici extrem de unitare.

(perceivable by the ear and disturbing), the density of the representative samples will be uneven across the entire range of the instrument.

The following figure shows the general scheme of creating a virtual instrument using four samples of a real instrument. We render below the scheme and the explanation also described in the analysis and creation of the virtual flute, which are important in terms of consistency and in order to understand how to build the virtual instrument analysed in this paper.

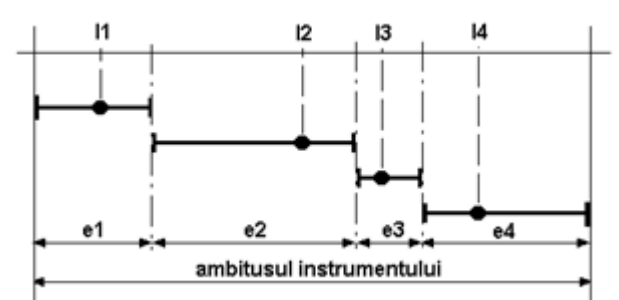


Figure 8. The general scheme of a virtual instrument

The filled circles represent the samples, i.e. the four real sounds chosen from all the captured sounds, which have the pitches  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  and  $I_4$ . These were translated up and down to obtain the segments  $e_1$ ,  $e_2$ ,  $e_3$  and  $e_4$ , thus covering the entire range of the virtual instrument.

The scheme for creating a virtual instrument above is somewhat of an ideal case. In fact, in the crossing areas between registers and sub-registers, as mentioned above, the samples will be more compact, and the translation segments narrower, to ensure a smooth, complex transition.

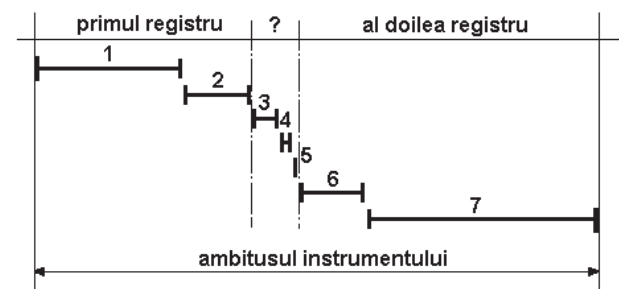


Figure 9. Adjustment of the number of samples

According to the two registers identified, the next step was to adequately adjust the number of samples, density, and translation areas represented in the figure above. The question mark signals a relatively narrow area, which we call “sensitive”, of register delimitation, in which the number of samples is as large as in the rest of the range. There may also emerge cases (similar to sample 5) in which a sample is dedicated to a single sound, i.e. not translated. Samples 4 and 5 will make a very smooth transfer to the following register.

## 2. Creating the virtual clarinet in Bb

The three-dimensional spectrographic analysis of the timbre frequencies of the clarinet denotes a division into registers similar to some of the models mentioned in the first part, that is, two main registers are outlined. The second register can optionally be divided into two sub-registers, because the final acute sounds have extremely unitary features.

Diferența de timbralitate dintre aceste două registre este, însă, extrem de mare și, în plus, trecerea de la un registru la altul se face relativ brusc. Aceste elemente dau naștere la o zonă de instabilitate dificilă, care necesită alocarea unui număr foarte mare de eșantioane suplimentare. Astfel, se poate aproxima un număr optim de nouă eșantioane, a căror translatare să acopere armonios ambitusul clarinetului.

În figura de mai jos (figura 10) este redat modelul clarinetului virtual, obținut în urma acestor analize.

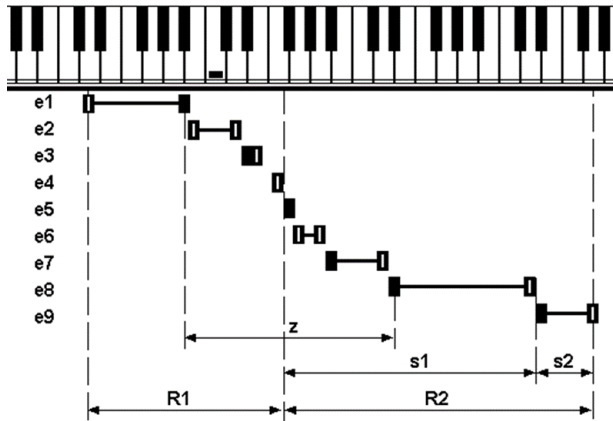


Figura 10. Modelul clarinetului virtual

Dintre aceste nouă eșantioane, șase vor acoperi zona tampon, a cărei pantă trebuie aplatizată printr-o extindere și o finisare macro-timbrală. Această zonă (notată în figură cu  $z$ ) este formată practic din două zone, una centrală, cealaltă mai largă, înglobând-o pe prima, deoarece la granița dintre cele două registre se petrec două evenimente timbrale complet diferite. Primul, ce se materializează prin zona mai extinsă, reprezintă trecerea de la un timbru grav dramatic și întunecat la un timbru acut cald și scânteietor, eveniment ce necesită o oarecare „pregătire” timbrală, de unde și necesitatea acestui interval tampon de mijloc.

Micro-zona din centrul intervalului amintit este dată de trecerea bruscă, abruptă dintre cele două registre, relevată de analiza spectrografică. Astfel eșantioanele  $e4$  și  $e5$ , corespunzătoare notelor  $fa$  și  $fa\#$ , aflate chiar la granița dintre registre, nu se vor translata, fiind completate de eșantioanele  $e3$  și  $e6$ , care preiau în acest caz rolul de tampon. Zona de transformare coloristică timbrală, reprezentată de grupul de eșantioane  $e2-e4$  și  $e5-e7$ , acoperă o treime din ambitusul instrumentului, și poate fi eventual considerată ca un registru tampon.

Eșantionul  $e1$  se va translata pe primele nouă sunete „întunecate” ale registrului grav. Înălțimea lui se va alege la începutul ultimei treimi a segmentului de translatare, conform teoriei expuse la instrumentele de mai sus. Eșantioanele din zona  $z$  se vor situa cu aproximație la mijlocul segmentelor aferente, deoarece păstrarea identității timbrale se realizează mai ușor pe intervale mici, capabile să ofere o trecere insesizabilă în evoluția coloristicii timbrale.

Eșantionul  $e8$  va avea un segment de translatare bine determinat, prin deducere, el având ca graniță superioară subregistru al doilea și va reprezenta timbral registrul acut cald, scânteietor. Înălțimea lui va fi, la fel ca la eșantionul  $e1$ , începutul ultimei treimi din segmentul de translatare. Ultimul eșantion,  $e9$ , se alege la mijlocul

The difference in timbre between these two registers is, however, extremely high and, in addition, the shift from one register to another is relatively abrupt. These elements give rise to a difficult instability area, which requires the allocation of a large number of additional samples. Thus, an optimal number of nine samples can be approximated, the translation of which harmoniously covers the range of the clarinet.

The figure below (figure 10) shows the virtual clarinet model obtained from these analyses.

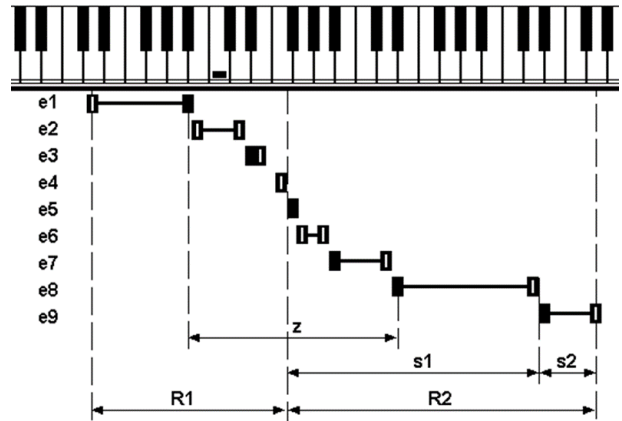


Figure 10. The virtual clarinet model

Of these nine samples, six will cover the buffer area, whose slope has to be flattened by an extension and a macro-timbral finish. This area (denoted in the figure with  $z$ ) is basically formed of two areas, one central, the other larger, encompassing the first one, because two completely different timbre events occur at the border between the two registers. The first, materializing through the wider area, is the transition from a dramatic and dark timbre to a warm and sparkling high timbre, an event requiring some timbre “preparation,” hence the need for this middle buffer.

The micro-zone in the centre of the mentioned interval is given by the sudden, steep passage between the two registers, revealed by the spectrographic analysis. Thus, the  $e4$  and  $e5$  samples, corresponding to the notes  $F$  and  $F\#$ , located at the boundary between the registers will not be translated, being completed by the  $e3$  and  $e6$  samples, which in this case take on the buffer role. The transformation area of timbre colour, represented by the sample group  $e2-e4$  and  $e5-e7$ , covers one-third of the instrument's range, and may be considered as a buffer register.

Sample  $e1$  will be translated into the first nine “dark” sounds of the low register. Its pitch will be chosen at the beginning of the last third of the translation segment, according to the theory outlined in the above instruments. The samples in the  $z$  area will be located approximately in the middle of the related segments because preserving the timbre identity is easier along small intervals, capable of providing an unnoticed transition in the evolution of the timbre colouring.

Sample  $e8$  will have a well-defined translation segment, by deduction, having the second sub-register as its upper boundary, and will represent the warm, sparkling high register. Its pitch will be, as in sample  $e1$ , the beginning of the last third of the translation segment. The last sample,  $e9$ , is selected in the middle of the corresponding

intervalului aferent și redă coloristic timbrul ultimelor sunete, tăioase și pătrunzătoare, ale ambitusului clarinetului.

## CONCLUZII

În prezentul studiu s-a analizat împărțirea pe registre și subregistre a clarinetului în Si bemol, un instrument de suflat, cu omogenitate timbrală, foarte flexibil. Din datele analizate s-a construit un model de clarinet virtual, care utilizează un minim de memorie de stocare.

interval, and renders the timbre colour of the last sounds, sharp and penetrating, in the clarinet's range.

## CONCLUSIONS

The present study analysed the division into registers and sub-registers of the clarinet in Bb, a woodwind instrument with homogeneous, very flexible timbre. From the data analysed, a virtual clarinet model was built using a minimum of storage memory.

## BIBLIOGRAFIE / REFERENCES

- [1] Adler, S. (2002). *The Study of Orchestration*, 3<sup>rd</sup> EDITION, New York: WW Norton Company.
- [2] Barthet, M., P. Guillemain, R. Kronland-Martinet, and S. Ystad. (2010). From Clarinet Control to Timbre Perception. In *Acta Acustica united with Acustica*, Vol. 96, pp. 678 – 689.
- [3] Bence-Muk, C. (2013). Tehnologii informatice folosite în compunerea lucrării Golem pentru clarinet, pian și muzică electronică by Cristian Bence-Muk. *ICTMF*, Vol. IV, nr. 1, 2013, 101-112. Print ISSN 2067-9408 / on-line ISSN 2069-654X.
- [4] Berlioz, H., and Strauss, R. (1948). *Treatise on instrumentati*. New York: Edwin F. Kalmus Publisher of Music.
- [5] Blatter, A. (1997). *Instrumentation and Orchestration*, 2<sup>nd</sup> edition, Schirmer, Cengage Learning.
- [6] Burgoyne, J.A., McAdams, S. (2008). A Meta-analysis of Timbre Perception Using Nonlinear Extensions to CLASCAL. In R. Kronland-Martinet, S. Ystad, and K. Jensen (Eds.), *Computer Music Modeling and Retrieval*, LNCS 4969, pp. 181–202, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [7] Casella A., and Mortari, V. (2004). *The Technique of Contemporary Orchestration*, 2<sup>nd</sup> revised edition. BMG Ricordi.
- [8] Crețu, V. (2007). *Elemente de teoria instrumentelor și orchestrație*, Bucharest: Editura Fundației România de mâine.
- [9] Hoepflich, E. (2008). *The clarinet*, London: Yale University Press.
- [10] McAdams, S., Depalle P., și Clarke, E. (2004). Analyzing Musical Sound. In Clarke, E., Cook, N., (eds.) *Empirical Musicology: Aims, Methods, Prospects*, Oxford Scholarship Online, pp. 157-196.
- [11] Nedelcuț, N. (2011). Integrarea resurselor multimedia în educația muzicală: experiment D.I.M.A. *Tehnologii informatice și de comunicație în domeniul muzical*, Vol. 2, no. 1/2011, pp. 19-29.
- [12] Pino, D. (1989). *The Clarinet and Clarinet Playing*, New York: Dover Publications.
- [13] Pop, C. (2011). Virtualizarea – stimul al creativității în domeniul muzical. *ICTMF*, Vol. II, nr. 1, 2011, 49-58. Print ISSN 2067-9408 / on-line ISSN 2069-654X
- [14] Stoica, P. și Moses, R. (2005). *Spectral Analysis of Signals*, New Jersey: Prentice Hall
- [15] *Wikipedia*, <https://en.wikipedia.org/wiki/Clarinet>
- [16] Yung, E. and Nedelcuț, N. (2015). Scalebook și Vemus, software dedicate educației instrumentale. *ICTMF*, Vol. VII, nr. 2, 2015, 37-42. Print ISSN 2067-9408 / on-line ISSN 2069-654X