

L'ABC

de la

MICROTONALITÉ

Jean-Pierre POULIN

PRÉSENTATION

LA MICROTONALITÉ N'EST PAS UN STYLE.

Elle concerne *l'accord fin* des notes et a plusieurs « branches » :

L'INTONATION JUSTE des musiques traditionnelles

Utilise des nombres rationnels (puissances, fractions). *Passage obligé* pour comprendre les tempéraments.

Les musiques celtes, arabes, noir africaines, indiennes, indonésiennes, extrême orientales AUTHENTIQUES ne peuvent pas se jouer avec les 12 demi-tons égaux par octave.

Certains musiciens de rock et de jazz jouent aussi en INTONATION JUSTE : ce qui leur permet des consonances encore plus suaves que celles des musiques de relaxation NEW AGE, mais aussi des dissonances encore plus féroces que celles des groupes de METAL les plus agressifs...

Les TEMPÉRAMEMENTS HISTORIQUES des musiques baroques

Utilisent un mélange de nombres rationnels et irrationnels.

BACH et RAMEAU, entre autres, ne jouaient pas avec les mêmes notes que celles que l'on connaît aujourd'hui. Pour ne pas déformer leur musique il faudrait accorder autrement les claviers !

Jacques DUDON propose des *tempéraments harmoniques* uniquement rationnels.

Les MICRO-INTERVALLES DE LA MUSIQUE CONTEMPORAINE

Nombres irrationnels (racines non exactes, π , Φ ...).

Divisions égales de n'importe quels intervalles, ou puissances de nombres irrationnels.

Et éventuellement les TORSIONS des notes du blues et de ses dérivés (jazz, rock, pop...)

Elles sont faites empiriquement *à partir d'instruments ordinaires*.

Il est possible d'aller plus loin en modifiant les instruments (tout en conservant les techniques de torsion qui font partie du style).

Les MUSIQUES NOUVELLES du futur... lointain ?

Nul ne sait à quoi elles vont ressembler... Elles auront sûrement été porteuses d'idéaux plus matures (ÉCONOMIE DISTRIBUTIVE, ESPERANTO, ÉNERGIE LIBRE entre autres) et donc plus évolutifs pour l'ancienne société que les nunuches « sex, drug and rock'n'roll » et « no futur » !

PRÉCISIONS

LA MUSIQUE CE N'EST PAS DES MATHS. Elle se rapporte aux *émotions*, et aussi à *l'intuition* quand on improvise.

S'il y a cependant un *aspect* mathématique dans la musique, il ne faut pas en déduire que c'est « sec », « froid », « intellectuel », « sans feeling » ou je ne sais quoi encore !

Il faut bien se mettre dans la tête que **quand un musicien microtonal conçoit ou accorde un instrument il se sert de sa science, mais quand il en joue il oublie tout ça et « vibre » comme n'importe quel autre musicien inspiré peut le faire...** il y en a même qui ne savent pas lire la musique !

Le lecteur est censé avoir déjà des notions sur les *intervalles*, les *accords*, les *renversements*, les *dièses* et les *bémols*, etc...

Sinon reportez vous à la THÉORIE DE LA MUSIQUE par A. DANHAUSER, éditions Henry LEMOINE, disponible dans toutes les librairies musicales.

Ou bien demandez à un professeur de musique qu'il vous donne quelques cours, juste pour assimiler les notions de base.

Précisez bien que vous n'avez pas besoin de lire la musique !

Une calculatrice scientifique (du style CASIO fx-92 « collège ») est indispensable. On la trouve dans les fournitures pour écoliers.

(Le niveau mathématique ici requis est très rudimentaire...).

Il est conseillé d'entrer les nombres suivants dans les mémoires afin de les rappeler avec la touche ALPHA lors des calculs en cents :

113.6850060	SECONDE	ENT MEM	A (Apotomé)
23.46001038	SECONDE	ENT MEM	B (comma « Bythagorien »)
21.50628959	SECONDE	ENT MEM	C (comma « Cyntonique »)
1.953720787	SECONDE	ENT MEM	D (schisma)
41.05885840	SECONDE	ENT MEM	E (comma Enharmonique)

Avec quelques entorses à l'orthographe pour des raisons mnémotechniques...

Vous pouvez plastifier les 2 feuilles transparentes.

MATÉRIEL MUSICAL

Il vous faudra acquérir un instrument capable de jouer des micro-intervalles.

La liste suivante est loin d'être complète : il est en effet **incroyablement difficile** d'obtenir des renseignements sur les possibilités microtonales des instruments de musique...

Claviers arrangeurs microtonals

GEM

WK 8 option KIT ORIENTAL

WK 2 ORIENTAL

PK 5 ORIENTAL (3 mémoires)

S2

KETRON

VEGA (+/- 99 cents, 20 mémoires, 13 footswitchs assignables)

XD 9 *VERSION TURQUE* (+/- 99 cents, 20 mémoires)

SD 1 (+/- 99 cents, 13 mémoires)

X 1 (+/- 99 cents, 6 mémoires)

X 8 (c'est un CLAVIER À TOUCHES ACCORDÉON : +/- 99 cents, 6 mémoires)

KORG

01/W

PROPHECY

i30 HD

ROLAND

EM-15 OR (+63/-64 cents, 3 mémoires)

EM-40 OR (3 mémoires)

E-70 (+63/-64 cents)

YAMAHA

PSR-A 1000

TX 81 Z

DX 11

DX 7 (+/- 64 cents)

Pianos numériques

KAWAI

CP 205, CP 185, CP 155 (10 tempéraments *dont 1 programmable*)

Contrôleurs à vent MIDI

AKAI

MAK EWI 3020

YAMAHA

WX-5

Vous devez les utiliser avec un expandeur ayant des possibilités microtonales...

Guitares MIDI

ROLAND

GR-33 (synthé guitare *qui nécessite un expandeur pour la microtonalité*)

Gİ-20 (interface MIDI + port USB fonctionnant avec le capteur GK-2A)

YAMAHA

G-50 (interface MIDI fonctionnant avec le capteur G1D)

Les modèles MULTIAC, ACS et LGX de GODIN ainsi que la FENDER STRATOCASTER *ROLAND* ont une sortie MIDI intégrée.

Pour la guitare MIDI vous devez avoir un expandeur microtonal...

Expandeurs microtonals

KETRON

XD3 (+/- 99 cents, 20 mémoires)

KORG

X5DR (+/- 99 cents, 1 mémoire)

ROLAND

XV - 2020

XV - 5050 (rack 1 unité)

XV - 5080 (rack 2 unités)

KURZWEIL

K 2000R

YAMAHA

VL 70-m (+/- 64 cents)

Si vous avez un MAC ou PC, vous pouvez télécharger gratuitement le logiciel SCALA de Manuel Op de COUL à l'adresse suivante :

<http://www.xs4all.nl/~huygensf/scala>

GUIWARE

Refretter ou faire refretter (même en zigzag!) par un luthier.

Repères sur un manche fretless (ou un violon, violoncelle...).

Touches interchangeables (Mark RANKIN, P.O. BOX 201, Alderpoint, CA 95511 USA).

Guitare à frettes ajustables (Hervé Raoul CHOUARD, Luckengasse 10, 85354 Freising, Allemagne).

AUTRES INSTRUMENTS UTILES

Cithare à 15 cordes

(Martial MURRAY, l'air du Temps, 1731 route du bord de Seine, 76480 Duclair, FRANCE).

Lithophones et xylophones sur mesures

(Robert HÉBRARD, La Tuannerie, 41800 Saint-Arnoult, FRANCE).

Épinettes des Vosges sur mesures

(Christophe TOUSSAINT, 4 les Granges de Franould, 88200 Dommartin-lès-Remiremont, FRANCE).

Psaltérions

(Didier BEAUCLAIR, 49330 Étriché, FRANCE).

Harpe

Ne pas utiliser les leviers et pédales ou alors les régler *spécifiquement*.

(Philippe VOLANT – <http://www.harpe-volant.fr>).

Accordéon

Il est possible de sacrifier un registre.

CONSTRUIRE SES PROPRES INSTRUMENTS À PARTIR D'OBJETS DE RÉCUPÉRATION (ce que faisait Harry PARTCH).

LUTHERIE SAUVAGE (Max VANDERVORST) Editions alternatives, 5 rue de Pontoise, 75005 PARIS.

ACCORDEURS MICROTONALS

TLA CTS-7-P (Marc VOGEL, Postfach 1245, 79795 Jestetten, ALLEMAGNE).

PETERSON VS-II <http://www.petersontuners.com/Products/modelvs2/index.cfm>

SANDERSON ACCU-TUNER <http://www.accu-tuner.com/AT1.htm>

SEIKO SAT 500 (Bas de gamme)

Logiciel gratuit G-TUNE (<http://www.gvst.co.uk/gtune.htm>)

CHAPITRE I

NOTIONS DE BASE

LES HARMONIQUES

Quand on joue une note avec un instrument de musique, on a l'impression de n'entendre qu'une seule note.

Pourtant cette note n'est jamais seule, à moins qu'avec par exemple un synthé elle ressemble au son d'un diapason. Mais c'est plutôt rare : la plupart du temps la note fondamentale est mixée avec plein d'autres « notes » qui s'appellent des SONS PARTIELS.

Un peu comme la lumière blanche n'est pas une lumière pure mais le mélange des couleurs de l'arc en ciel.

Quand les sons partiels vibrent 2, 3, 4, 5, 6, 7, etc... fois plus vite que la note fondamentale, on parle de SONS HARMONIQUES.

Quand un son partiel vibre par exemple 3,73 fois plus vite (ce n'est pas un multiple entier du son fondamental) on appelle ça un SON INHARMONIQUE.

Les idiophones ont des partiels inharmoniques.

Ce sont les partiels qui nous font reconnaître le TIMBRE d'un instrument.

Cependant, il n'y a pas que le timbre pour reconnaître un instrument : il y a aussi l'attaque, et la façon dont la note meurt... mais ça c'est une autre histoire.

Marin MERSENNE : Harmonie universelle (1636)

Joseph SAUVEUR : Principes d'acoustique et de musique (1701)

Hermann HELMHOLTZ : On the sensations of tone (1885)

Voir aussi le théorème de Joseph FOURIER.

LA SÉRIE HARMONIQUE

1 est la fréquence fondamentale de la note.

La fréquence est le nombre de vibrations par seconde, elle s'exprime en HERTZ (Hz). Plus la fréquence est élevée, plus le son est aigu.

2 est la 2^{ème} harmonique, elle vibre 2 fois plus vite que le 1, sa fréquence est multipliée par 2 et elle est 2 fois plus aiguë.

3 est la 3^{ème} harmonique qui vibre 3 fois plus rapidement que le 1 (fréquence multipliée par 3, 3 fois plus aiguë).

Et ainsi de suite jusqu'à (théoriquement) l'infini...

LE 1 PEUT REPRÉSENTER N'IMPORTE QUELLE FRÉQUENCE.
(L'oreille humaine entend les fréquences entre environ 20 et 20 000 Hz).

Les harmoniques d'un son fondamental de 20 Hz seront espacées de 20 Hz, celles d'un son fondamental de 100 Hz le seront de 100 Hz, etc...

Pour un LA 440, le 1 vibre à 440 Hz (440×1), la 2^{ème} harmonique à 880 Hz (440×2), la 3^{ème} à 1 320 Hz (440×3): on ajoute 440 à chaque fois...

Vous pouvez visualiser le signe « multiplier par » devant chaque nombre représentant les harmoniques.

Avec les harmoniques on est dans le relatif, avec les fréquences on est dans l'absolu.

HARMONIQUES et FRÉQUENCES

60 (fréquence multipliée par 60)	1200Hz	6000Hz	
59 (fréquence multipliée par 59)	1180Hz	5900Hz	
58 (fréquence multipliée par 58)	1160Hz	5800Hz	
57 (fréquence multipliée par 57)	1140Hz	5700Hz	
56 (fréquence multipliée par 56)	1120Hz	5600Hz	
55 (fréquence multipliée par 55)	1100Hz	5500Hz	
54 (fréquence multipliée par 54)	1080Hz	5400Hz	
53 (fréquence multipliée par 53)	1060Hz	5300Hz	
52 (fréquence multipliée par 52)	1040Hz	5200Hz	
51 (fréquence multipliée par 51)	1020Hz	5100Hz	
50 (fréquence multipliée par 50)	1000Hz	5000Hz	
49 (fréquence multipliée par 49)	980Hz	4900Hz	
48 (fréquence multipliée par 48)	960Hz	4800Hz	
47 (fréquence multipliée par 47)	940Hz	4700Hz	
46 (fréquence multipliée par 46)	920Hz	4600Hz	ULTRASONS
45 (fréquence multipliée par 45)	900Hz	4500Hz	19800Hz
44 (fréquence multipliée par 44)	880Hz	4400Hz	19360Hz
43 (fréquence multipliée par 43)	860Hz	4300Hz	18920Hz
42 (fréquence multipliée par 42)	840Hz	4200Hz	18480Hz
41 (fréquence multipliée par 41)	820Hz	4100Hz	18040Hz
40 (fréquence multipliée par 40)	800Hz	4000Hz	17600Hz
39 (fréquence multipliée par 39)	780Hz	3900Hz	17160Hz
38 (fréquence multipliée par 38)	760Hz	3800Hz	16720Hz
37 (fréquence multipliée par 37)	740Hz	3700Hz	16280Hz
36 (fréquence multipliée par 36)	720Hz	3600Hz	15840Hz
35 (fréquence multipliée par 35)	700Hz	3500Hz	15400Hz
34 (fréquence multipliée par 34)	680Hz	3400Hz	14960Hz
33 (fréquence multipliée par 33)	660Hz	3300Hz	14520Hz
32 (fréquence multipliée par 32)	640Hz	3200Hz	14080Hz
31 (fréquence multipliée par 31)	620Hz	3100Hz	13640Hz
30 (fréquence multipliée par 30)	600Hz	3000Hz	13200Hz
29 (fréquence multipliée par 29)	580Hz	2900Hz	12760Hz
28 (fréquence multipliée par 28)	560Hz	2800Hz	12320Hz
27 (fréquence multipliée par 27)	540Hz	2700Hz	11880Hz
26 (fréquence multipliée par 26)	520Hz	2600Hz	11440Hz
25 (fréquence multipliée par 25)	500Hz	2500Hz	11000Hz
24 (fréquence multipliée par 24)	480Hz	2400Hz	10560Hz
23 (fréquence multipliée par 23)	460Hz	2300Hz	10120Hz
22 (fréquence multipliée par 22)	440Hz	2200Hz	9680Hz
21 (fréquence multipliée par 21)	420Hz	2100Hz	9240Hz
20 (fréquence multipliée par 20)	400Hz	2000Hz	8800Hz
19 (fréquence multipliée par 19)	380Hz	1900Hz	8360Hz
18 (fréquence multipliée par 18)	360Hz	1800Hz	7920Hz
17 (fréquence multipliée par 17)	340Hz	1700Hz	7480Hz
16 (fréquence multipliée par 16)	320Hz	1600Hz	7040Hz
15 (fréquence multipliée par 15)	300Hz	1500Hz	6600Hz
14 (fréquence multipliée par 14)	280Hz	1400Hz	6160Hz
13 (fréquence multipliée par 13)	260Hz	1300Hz	5720Hz
12 (fréquence multipliée par 12)	240Hz	1200Hz	5280Hz
11 (fréquence multipliée par 11)	220Hz	1100Hz	4840Hz
10 (fréquence multipliée par 10)	200Hz	1000Hz	4400Hz
9 (fréquence multipliée par 9)	180Hz	900Hz	3960Hz
8 (fréquence multipliée par 8)	160Hz	800Hz	3520Hz
7 (fréquence multipliée par 7)	140Hz	700Hz	3080Hz
6 (fréquence multipliée par 6)	120Hz	600Hz	2640Hz
5 (fréquence multipliée par 5)	100Hz	500Hz	2200Hz
4 (fréquence multipliée par 4)	80Hz	400Hz	1760Hz
3 (fréquence multipliée par 3)	60Hz	300Hz	1320Hz
2 (fréquence multipliée par 2)	40Hz	200Hz	880Hz
1 (choix d'une fréquence entre 20 et 20 000 Hz)	20Hz	100Hz	440Hz

EN RÉALITÉ

Les nombres du tableau de la page précédente sont à égale distance les uns des autres pour des raisons de lisibilité.

Il aurait plutôt fallu représenter les choses comme ci-contre, mais il aurait été « difficile » d'aller jusqu'à 1140 de cette façon...

Plus on monte dans l'aigu et plus les intervalles entre les harmoniques se rétrécissent, jusqu'à devenir infiniment minuscules.

Plus les nombres augmentent et plus la progression vers l'aigu se ralentit: chaque note est plus près de la note suivante que de la note précédente.

Il faut aussi savoir que plus les harmoniques sont aiguës moins elles sonnent fort, si bien que l'on finit par ne plus les entendre.

La guimbarde, le didjeridoo, les bols chantants, les tubes harmoniques, la harpe éolienne laissent particulièrement bien entendre les harmoniques.

La flûte harmonique (dans une moindre mesure le galoubet provençal ou le txistu basque), le cor des alpes, le clairon (dans une moindre mesure les autres cuivres) sont basés sur la série des harmoniques.

Sur d'autres instruments, certaines techniques peuvent les mettre en évidence.

GUIWARE: intro de « Eddie soit bon » (Eddy MITCHELL et les Chaussettes Noires), début du solo de « Nuages » (Django REINHARDT), ZZ TOP, VAN HALEN, Joe SATRIANI...

VIOLON: « Ciolîrlia » (morceau tzigane qui imite le chant de l'alouette).

SAXOPHONE : Archie SHEPP, Albert AYLER...

VOIX (Chant harmonique ou diphonique):

Asie: République Touva, Mongolie, Tibet, Rajastan...

Afrique: les Xhosas d'Afrique du Sud...

France: Trân Quang HÃ, les Voix Diphoniques...

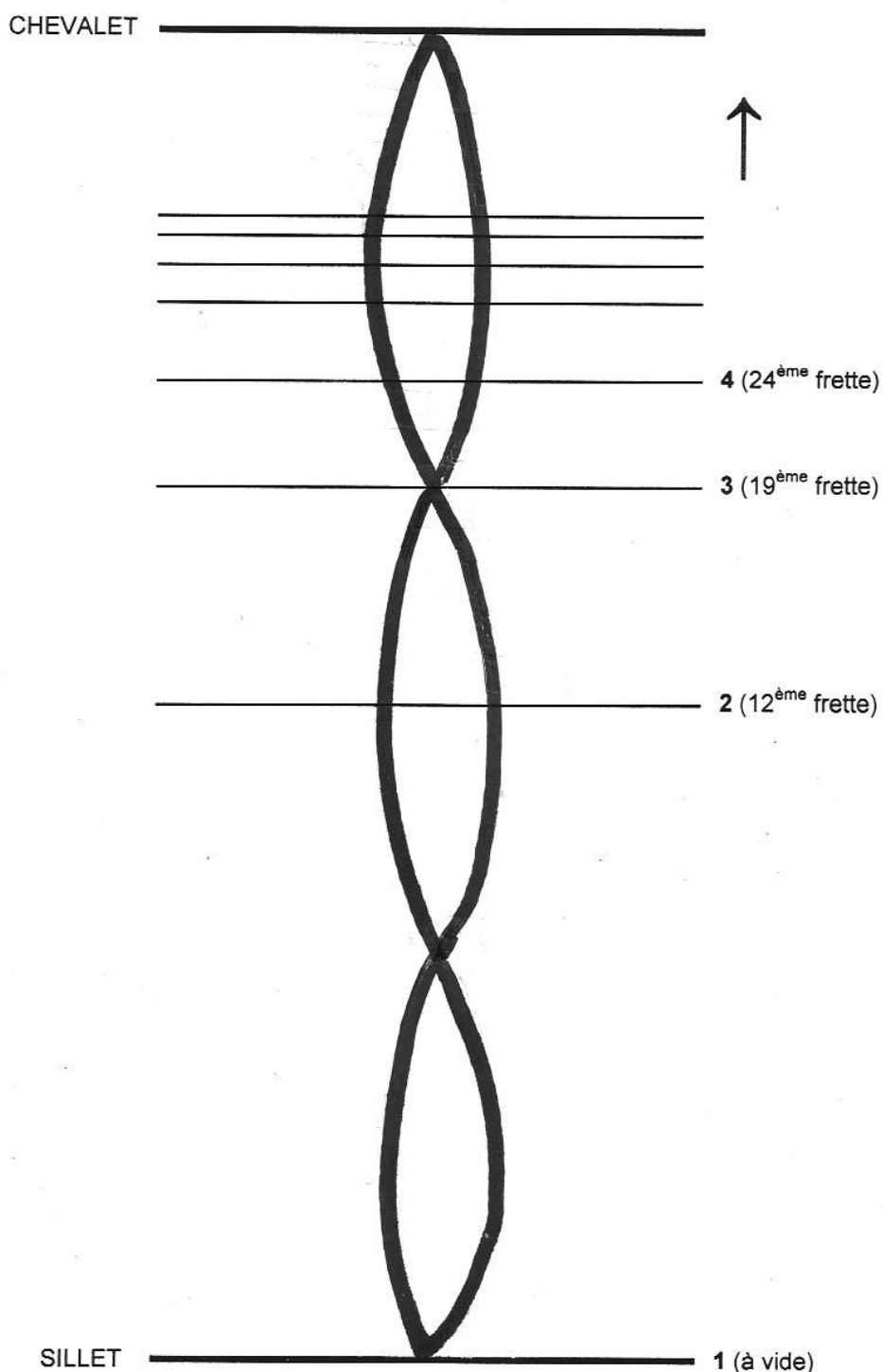
U.S.A.: David HYKES...

Avec une corde LA FRÉQUENCE EST INVERSEMENT PROPORTIONNELLE À LA LONGUEUR (pour multiplier la fréquence par 3 il faut diviser la longueur par 3: il y aura 2 endroits où produire la 3^{ème} harmonique en effleurant la corde avec le doigt).

Une flûte harmonique ouverte produit toutes les harmoniques. Bouchée avec le pouce: seulement les harmoniques impaires *une octave plus bas*.

SUR UNE CORDE DE GUITARE

EN THÉORIE on se rapproche toujours plus du chevalet *sans jamais l'atteindre...*



Les traits horizontaux indiquent les correspondances, au niveau des fréquences, entre les harmoniques et les notes frettées.

La 3^{ème} harmonique se rapporte au 3^{ème} mode de vibration :
Il y aura donc, en plus du nœud de la 19^{ème} frette, un autre nœud entre le sillet et la 12^{ème} frette, *mais dont la fréquence correspondra à la note de la 19^{ème} frette.*

LES NOTES ET LES INTERVALLES

Le 1 peut représenter n'importe quelle note.

Si on décide que 1 c'est DO, alors 2 est un autre DO qui se trouve à l'octave supérieure.

ATTENTION: Par rapport aux fréquences l'octave à un rapport avec 2 (et non avec 8!). On aurait pu l'appeler « DITAVE »...

MULTIPLIER par 2 = AJOUTER une octave

DIVISER par 2 = SOUSTRAIRE une octave

Car si en solfège on additionne les intervalles, en acoustique on les *multiplie*.

Dans le tableau suivant, les numéros noirs en gras représentent le **1** et **ses octaves**. (Les harmoniques représentent des *notes*, ce n'est que par abus de langage qu'on parle ici d'*intervalles* comme les octaves).

Si le **1** c'est DO, alors **2 – 4 – 8 – 16 – 32 – 64 – 128 – 256 – 512 et 1024** sont aussi des DO.

Gardez à l'esprit que toutes les octaves sont identiques.

Par conséquent il y a le même **rapport** (= *intervalle* dans le sens strict) entre **1** et **2** qu'entre **512** et **1024**.

Si en noir ce sont les DO, alors en rouge ce sont des SOL, en bleu des MI, en orange des SIb (abaissés d'environ 1/6 de ton), en violet des FA# (abaissés d'environ 1/4 de ton), en jaune des LAb (élevés d'environ 1/5 de ton) et en vert des RÉb.

Et 9 – 18 – 36 – 72 – 144 – 288 – 576... ?

9 est par rapport à 3 ce que 3 est par rapport à 1. Si 1 = DO, alors 3 = SOL, et donc 9 = RÉ (quand on multiplie par 3 on suit l'ordre des dièses).

OCTAVES DE 1, 3, 5, 7, 11, 13, 17

60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780	840	900	960	1020	1080	1140
59	119	179	239	299	359	419	479	539	599	659	719	779	839	899	959	1019	1079	1139
58	118	178	238	298	358	418	478	538	598	658	718	778	838	898	958	1018	1078	1138
57	117	177	237	297	357	417	477	537	597	657	717	777	837	897	957	1017	1077	1137
56	116	176	236	296	356	416	476	536	596	656	716	776	836	896	956	1016	1076	1136
55	115	175	235	295	355	415	475	535	595	655	715	775	835	895	955	1015	1075	1135
54	114	174	234	294	354	414	474	534	594	654	714	774	834	894	954	1014	1074	1134
53	113	173	233	293	353	413	473	533	593	653	713	773	833	893	953	1013	1073	1133
52	112	172	232	292	352	412	472	532	592	652	712	772	832	892	952	1012	1072	1132
51	111	171	231	291	351	411	471	531	591	651	711	771	831	891	951	1011	1071	1131
50	110	170	230	290	350	410	470	530	590	650	710	770	830	890	950	1010	1070	1130
49	109	169	229	289	349	409	469	529	589	649	709	769	829	889	949	1009	1069	1129
48	108	168	228	288	348	408	468	528	588	648	708	768	828	888	948	1008	1068	1128
47	107	167	227	287	347	407	467	527	587	647	707	767	827	887	947	1007	1067	1127
46	106	166	226	286	346	406	466	526	586	646	706	766	826	886	946	1006	1066	1126
45	105	165	225	285	345	405	465	525	585	645	705	765	825	885	945	1005	1065	1125
44	104	164	224	284	344	404	464	524	584	644	704	764	824	884	944	1004	1064	1124
43	103	163	223	283	343	403	463	523	583	643	703	763	823	883	943	1003	1063	1123
42	102	162	222	282	342	402	462	522	582	642	702	762	822	882	942	1002	1062	1122
41	101	161	221	281	341	401	461	521	581	641	701	761	821	881	941	1001	1061	1121
40	100	160	220	280	340	400	460	520	580	640	700	760	820	880	940	1000	1060	1120
39	99	159	219	279	339	399	459	519	579	639	699	759	819	879	939	999	1059	1119
38	98	158	218	278	338	398	458	518	578	638	698	758	818	878	938	998	1058	1118
37	97	157	217	277	337	397	457	517	577	637	697	757	817	877	937	997	1057	1117
36	96	156	216	276	336	396	456	516	576	636	696	756	816	876	936	996	1056	1116
35	95	155	215	275	335	395	455	515	575	635	695	755	815	875	935	995	1055	1115
34	94	154	214	274	334	394	454	514	574	634	694	754	814	874	934	994	1054	1114
33	93	153	213	273	333	393	453	513	573	633	693	753	813	873	933	993	1053	1113
32	92	152	212	272	332	392	452	512	572	632	692	752	812	872	932	992	1052	1112
31	91	151	211	271	331	391	451	511	571	631	691	751	811	871	931	991	1051	1111
30	90	150	210	270	330	390	450	510	570	630	690	750	810	870	930	990	1050	1110
29	89	149	209	269	329	389	449	509	569	629	689	749	809	869	929	989	1049	1109
28	88	148	208	268	328	388	448	508	568	628	688	748	808	868	928	988	1048	1108
27	87	147	207	267	327	387	447	507	567	627	687	747	807	867	927	987	1047	1107
26	86	146	206	266	326	386	446	506	566	626	686	746	806	866	926	986	1046	1106
25	85	145	205	265	325	385	445	505	565	625	685	745	805	865	925	985	1045	1105
24	84	144	204	264	324	384	444	504	564	624	684	744	804	864	924	984	1044	1104
23	83	143	203	263	323	383	443	503	563	623	683	743	803	863	923	983	1043	1103
22	82	142	202	262	322	382	442	502	562	622	682	742	802	862	922	982	1042	1102
21	81	141	201	261	321	381	441	501	561	621	681	741	801	861	921	981	1041	1101
20	80	140	200	260	320	380	440	500	560	620	680	740	800	860	920	980	1040	1100
19	79	139	199	259	319	379	439	499	559	619	679	739	799	859	919	979	1039	1099
18	78	138	198	258	318	378	438	498	558	618	678	738	798	858	918	978	1038	1098
17	77	137	197	257	317	377	437	497	557	617	677	737	797	857	917	977	1037	1097
16	76	136	196	256	316	376	436	496	556	616	676	736	796	856	916	976	1036	1096
15	75	135	195	255	315	375	435	495	555	615	675	735	795	855	915	975	1035	1095
14	74	134	194	254	314	374	434	494	554	614	674	734	794	854	914	974	1034	1094
13	73	133	193	253	313	373	433	493	553	613	673	733	793	853	913	973	1033	1093
12	72	132	192	252	312	372	432	492	552	612	672	732	792	852	912	972	1032	1092
11	71	131	191	251	311	371	431	491	551	611	671	731	791	851	911	971	1031	1091
10	70	130	190	250	310	370	430	490	550	610	670	730	790	850	910	970	1030	1090
9	69	129	189	249	309	369	429	489	549	609	669	729	789	849	909	969	1029	1089
8	68	128	188	248	308	368	428	488	548	608	668	728	788	848	908	968	1028	1088
7	67	127	187	247	307	367	427	487	547	607	667	727	787	847	907	967	1027	1087
6	66	126	186	246	306	366	426	486	546	606	666	726	786	846	906	966	1026	1086
5	65	125	185	245	305	365	425	485	545	605	665	725	785	845	905	965	1025	1085
4	64	124	184	244	304	364	424	484	544	604	664	724	784	844	904	964	1024	1084
3	63	123	183	243	303	363	423	483	543	603	663	723	783	843	903	963	1023	1083
2	62	122	182	242	302	362	422	482	542	602	662	722	782	842	902	962	1022	1082
1	61	121	181	241	301	361	421	481	541	601	661	721	781	841	901	961	1021	1081

NUMÉROS ET NOTES

Les harmoniques paires sont des multiplications par 2, on peut les enlever du tableau car ce sont des numéros de notes qui sont déjà apparus sous forme impaire.

Il faut diviser un nombre pair par 2 pour trouver plus facilement le nom de la note qui lui correspond: par exemple $6 \div 2 = 3$.
Ça veut dire que 6 porte le même nom de note que 3.

Si en divisant par 2 on a encore un nombre pair il faut à nouveau diviser par 2, autant de fois que nécessaire pour arriver à un nombre impair.

Par exemple: $640 \rightarrow 320 \rightarrow 160 \rightarrow 80 \rightarrow 40 \rightarrow 20 \rightarrow 10 \rightarrow 5$.

Ces 8 notes sont différentes les unes des autres puisqu'elles n'ont pas les mêmes fréquences, mais les musiciens leur donnent le même nom (parfois en précisant les octaves).

3 est la 5^{te} de 2: si 1 (donc 2) = DO, alors 3 = SOL (ainsi que 6 – 12 – 24 – 48 – 96 – 192 – 384 – 768...).

5 est la 3^{ce} M de 4: si 1 (donc 2 et 4) = DO, alors 5 = MI (ainsi que 10 – 20 – 40 – 80 – 160 – 320 – 640...).

ATTENTION: en ce qui concerne les fréquences, la 5^{te} a un rapport avec 3, la 3^{ce} M a un rapport avec 5.

Ce qui dans la théorie ordinaire correspond, *car elle n'a pas besoin d'être précise*, à un seul nom de note correspond dans la série harmonique à des « zones » de plusieurs numéros (voir les couleurs ci-contre, dont la logique est celle des demi-tons plutôt que celle des harmoniques). *Une même « note » a plusieurs versions différentes.* Les « 1/4 de tons » sont aux extrémités des couleurs.

HARMONIQUES IMPAIRES

1 2m 2M 3m 3M 4 4+ 5 6m 6M 7m 7M

59	119	179	239	299	359	419	479	539	599	659	719	779	839	899	959	1019	1079	1139
57	117	177	237	297	357	417	477	537	597	657	717	777	837	897	957	1017	1077	1137
55	115	175	235	295	355	415	475	535	595	655	715	775	835	895	955	1015	1075	1135
53	113	173	233	293	353	413	473	533	593	653	713	773	833	893	953	1013	1073	1133
51	111	171	231	291	351	411	471	531	591	651	711	771	831	891	951	1011	1071	1131
49	109	169	229	289	349	409	469	529	589	649	709	769	829	889	949	1009	1069	1129
47	107	167	227	287	347	407	467	527	587	647	707	767	827	887	947	1007	1067	1127
45	105	165	225	285	345	405	465	525	585	645	705	765	825	885	945	1005	1065	1125
43	103	163	223	283	343	403	463	523	583	643	703	763	823	883	943	1003	1063	1123
41	101	161	221	281	341	401	461	521	581	641	701	761	821	881	941	1001	1061	1121
39	99	159	219	279	339	399	459	519	579	639	699	759	819	879	939	999	1059	1119
37	97	157	217	277	337	397	457	517	577	637	697	757	817	877	937	997	1057	1117
35	95	155	215	275	335	395	455	515	575	635	695	755	815	875	935	995	1055	1115
33	93	153	213	273	333	393	453	513	573	633	693	753	813	873	933	993	1053	1113
31	91	151	211	271	331	391	451	511	571	631	691	751	811	871	931	991	1051	1111
29	89	149	209	269	329	389	449	509	569	629	689	749	809	869	929	989	1049	1109
27	87	147	207	267	327	387	447	507	567	627	687	747	807	867	927	987	1047	1107
25	85	145	205	265	325	385	445	505	565	625	685	745	805	865	925	985	1045	1105
23	83	143	203	263	323	383	443	503	563	623	683	743	803	863	923	983	1043	1103
21	81	141	201	261	321	381	441	501	561	621	681	741	801	861	921	981	1041	1101
19	79	139	199	259	319	379	439	499	559	619	679	739	799	859	919	979	1039	1099
17	77	137	197	257	317	377	437	497	557	617	677	737	797	857	917	977	1037	1097
15	75	135	195	255	315	375	435	495	555	615	675	735	795	855	915	975	1035	1095
13	73	133	193	253	313	373	433	493	553	613	673	733	793	853	913	973	1033	1093
11	71	131	191	251	311	371	431	491	551	611	671	731	791	851	911	971	1031	1091
9	69	129	189	249	309	369	429	489	549	609	669	729	789	849	909	969	1029	1089
7	67	127	187	247	307	367	427	487	547	607	667	727	787	847	907	967	1027	1087
5	65	125	185	245	305	365	425	485	545	605	665	725	785	845	905	965	1025	1085
3	63	123	183	243	303	363	423	483	543	603	663	723	783	843	903	963	1023	1083
1	61	121	181	241	301	361	421	481	541	601	661	721	781	841	901	961	1021	1081

LES RAPPORTS DE FRÉQUENCES

Les *intervalles* entre les harmoniques sont représentés par des fractions.

$3/2$ = la « distance » entre 2 et 3 (= une 5^{te}).

$5/4$ = la « distance » entre 4 et 5 (= une 3^{ce} M).

$9/8$ = une 2^{de} M

$4/3$ = une 4^{te}

$5/3$ = une 6^{te} M ($4/3 \times 5/4 = 4^{te} + 3^{ce}$ M).

$15/8$ = une 7^{ème} M ($3/2 \times 5/4 = 5^{te} + 3^{ce}$ M).

RENVERSEMENTS: diviser 2 par l'intervalle que l'on veut renverser ($2 \div 3/2 = 4/3$).

6m = $2 \div 5/4$ **7m** = $2 \div 9/8$ **3m** = $2 \div 5/3$ **2m** = $2 \div 15/8$

Il ne faut pas confondre fréquence fondamentale et tonique: quand on crée des gammes avec des notes dont les fréquences sont basées sur la suite des harmoniques on n'est pas obligé de prendre le 1 ou ses octaves comme tonique.

Il n'y a pas de tabou: ON PEUT PRENDRE COMME TONIQUE N'IMPORTE QUELLE HARMONIQUE!

C'est le principe même des MODES, ou de la **liberté** que l'on a de *choisir* notre « angle d'écoute ».

Ça permet de découvrir des rapports « cachés » dont les dénominateurs ne sont pas des puissances de 2, comme $4/3$ ou $5/3$...

La musique n'est pas *seulement* naturelle, elle est aussi **artificielle**!

Par conséquent on peut représenter DO RÉ MI FA SOL LA SI DO par les **nombres harmoniques** 24 – 27 – 30 – 32 – 36 – 40 – 45 – 48, en prenant 24 comme tonique. Avec 32 on aurait FA SOL LA SI DO RÉ MI FA et les intervalles du mode LYDIEN.

$$24/24 = 1$$

$$32/32 = 1$$

$$27/24 = 9/8$$

$$36/32 = 9/8$$

$$30/24 = 5/4$$

$$40/32 = 5/4$$

$$32/24 = 4/3$$

$$45/32 = 45/32 (4^{te} +)$$

$$36/24 = 3/2$$

$$48/32 = 3/2$$

$$40/24 = 5/3$$

$$54/32 = 27/16 (\text{autre } 6^{te} \text{ M})$$

$$45/24 = 15/8$$

$$60/32 = 15/8$$

$$48/24 = 2$$

$$64/32 = 2$$

Les fractions représentent une proportion de ce qu'il y a entre 0 et 1.

En prenant pour exemple $3/2$, voici la formule pour convertir (avec la calculatrice) un rapport de fréquences en cents ($100^{\text{èmes}}$ de $1/2$ ton):

$$\log 3/2 \div \log 2 \times 1200 = 701.955\ 000\ 8... \text{ on arrondit à } 702.$$

Ça peut servir pour accorder un synthé ou programmer un accordeur (comme le CTS-7-P de TLA).

LES NOMBRES HARMONIQUES

Ils représentent des *notes* (et non des intervalles).

Utilisés par Marin MERSENNE (1588 – 1648) dans la description de ses *claviers naturels*.

Pour convertir des rapports (par ex: 1/1 9/8 5/4 4/3 3/2 5/3 15/8 2/1) en nombres harmoniques:

- enlever les numérateurs: il reste 1 8 4 3 2 3 8 1
- enlever les 1: il reste 8 4 3 2 3 8
- enlever les nombres qui apparaissent une 2^{ème} fois: il reste 8 4 3 2

Trouver le **Plus Petit Commun Multiple**

décomposer chaque nombre (s'il n'est pas déjà un nombre premier) en produits de nombres premiers

$$8 = 2 \times 2 \times 2 \quad 4 = 2 \times 2 \quad 3 \quad 2$$

écrire la même chose sous forme de puissances

$$2 \times 2 \times 2 = 2^3 \quad 2 \times 2 = 2^2 \quad 3 = 3^1 \quad 2 = 2^1$$

quand un nombre apparaît plusieurs fois, ne garder que sa version avec la puissance la plus élevée

$$2^3(=8) \quad 3^1(=3)$$

on multiplie 8 par 3, ça fait **24**

- multiplier chaque rapport par 24

$$1 \times 24 = 24 \quad 9/8 \times 24 = 27 \quad 5/4 \times 24 = 30 \quad 4/3 \times 24 = 32 \quad 3/2 \times 24 = 36 \quad 5/3 \times 24 = 40 \quad 15/8 \times 24 = 45 \quad 2 \times 24 = 48$$

Ensuite, si besoin, on peut réintroduire les rapports, par exemple pour connaître l'intervalle entre 36 et 45:

$$45/36 = 5/4 \text{ (on peut aussi faire « } 15/8 \div 3/2 \text{ »)}$$

$$45 \div 36 = 1.25 \text{ (touche « d/c »: } 1.25 \rightarrow 5/4)$$

Les nombres harmoniques permettent de se représenter plus facilement les notes: s'il faut réfléchir un peu pour comprendre que 3/2 est un intervalle plus grand que 4/3, on voit immédiatement, sans chercher à comprendre, que 36 est une note plus aigue que 32...

ÉCHELLES, MODES, GAMMES

5	6	7	8	9	10		12		14		16		18		20
5	6	7	8	9	10	11	12		14		16		18		20
5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		16		18		20

Les numéros qui ne sont pas en gras représentent des doublures à l'octave (inférieure ou supérieure).

De 5 à 10 on a une échelle pentatonique (5 notes).

De 6 à 12 une échelle hexatonique (6 notes).

De 7 à 14 une échelle heptatonique (7 notes).

Et ainsi de suite : à chaque fois la nouvelle note apparaît en avant dernier, juste avant l'octave.

Une **ÉCHELLE** est une suite de degrés dont on n'a pas encore choisi la tonique : par exemple 5 6 7 8 9 10 (et qui, évidemment, se poursuit par 12 14 16 18 20 24 28 etc...).

Un **MODE** est une suite de degrés dont on a choisi la tonique : par exemple 5/5, 6/5, 7/5, 8/5, 9/5, 10/5 ou 6/6, 7/6, 8/6, 9/6, 10/6, 12/6 ou 7/7, 8/7, 9/7, 10/7, 12/7, 14/7 ou 8/8, 9/8, 10/8, 12/8, 14/8, 16/8 ou enfin 9/9, 10/9, 12/9, 14/9, 16/9, 18/9. (La tonique est au dénominateur). Une échelle a autant de modes qu'elle a de degrés.

Une **GAMME** est une suite de degrés qui correspondent à des fréquences PHYSIQUES (des notes) : la gamme se transpose, mais *le mode est au-delà de la transposition...*

On peut sauter des harmoniques : par exemple 16 17 18 19 20 21 22 24 26 27 28 30 32 (Wendy CARLOS « Harmonic »).

On peut aussi prendre, à partir de 1, les puissances de 3.

Les puissances de 3 sont les numéros rouges du tableau ci-contre.

Pour ramener dans l'octave il faut mettre au dénominateur la puissance de 2 qui se trouve immédiatement au dessous : donc 1/1, 3/2, 9/8, 27/16, 81/64, 243/128 et 729/512 si on s'arrête à 7 notes. (Pour trouver le mode du 9 : diviser chaque rapport par 9/8).

Pour classer les rapports du grave à l'aigu il faut connaître leur hauteur :

- multiplier par 3 fait progresser suivant l'ordre des dièses : on a donc FA DO SOL RÉ LA MI SI = 1/1, 3/2, 9/8, 27/16, 81/64, 243/128, 729/512, donc FA SOL LA SI DO RÉ MI = 1/1, 9/8, 81/64, 729/512, 3/2, 27/16, 243/128.

- on peut aussi convertir en cents avec la calculatrice, et ensuite classer du plus petit au plus grand.

PUISSANCES DE 2 (= OCTAVES) et **PUISSANCES DE 3**

60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780	840	900	960	1020	1080	1140
59	119	179	239	299	359	419	479	539	599	659	719	779	839	899	959	1019	1079	1139
58	118	178	238	298	358	418	478	538	598	658	718	778	838	898	958	1018	1078	1138
57	117	177	237	297	357	417	477	537	597	657	717	777	837	897	957	1017	1077	1137
56	116	176	236	296	356	416	476	536	596	656	716	776	836	896	956	1016	1076	1136
55	115	175	235	295	355	415	475	535	595	655	715	775	835	895	955	1015	1075	1135
54	114	174	234	294	354	414	474	534	594	654	714	774	834	894	954	1014	1074	1134
53	113	173	233	293	353	413	473	533	593	653	713	773	833	893	953	1013	1073	1133
52	112	172	232	292	352	412	472	532	592	652	712	772	832	892	952	1012	1072	1132
51	111	171	231	291	351	411	471	531	591	651	711	771	831	891	951	1011	1071	1131
50	110	170	230	290	350	410	470	530	590	650	710	770	830	890	950	1010	1070	1130
49	109	169	229	289	349	409	469	529	589	649	709	769	829	889	949	1009	1069	1129
48	108	168	228	288	348	408	468	528	588	648	708	768	828	888	948	1008	1068	1128
47	107	167	227	287	347	407	467	527	587	647	707	767	827	887	947	1007	1067	1127
46	106	166	226	286	346	406	466	526	586	646	706	766	826	886	946	1006	1066	1126
45	105	165	225	285	345	405	465	525	585	645	705	765	825	885	945	1005	1065	1125
44	104	164	224	284	344	404	464	524	584	644	704	764	824	884	944	1004	1064	1124
43	103	163	223	283	343	403	463	523	583	643	703	763	823	883	943	1003	1063	1123
42	102	162	222	282	342	402	462	522	582	642	702	762	822	882	942	1002	1062	1122
41	101	161	221	281	341	401	461	521	581	641	701	761	821	881	941	1001	1061	1121
40	100	160	220	280	340	400	460	520	580	640	700	760	820	880	940	1000	1060	1120
39	99	159	219	279	339	399	459	519	579	639	699	759	819	879	939	999	1059	1119
38	98	158	218	278	338	398	458	518	578	638	698	758	818	878	938	998	1058	1118
37	97	157	217	277	337	397	457	517	577	637	697	757	817	877	937	997	1057	1117
36	96	156	216	276	336	396	456	516	576	636	696	756	816	876	936	996	1056	1116
35	95	155	215	275	335	395	455	515	575	635	695	755	815	875	935	995	1055	1115
34	94	154	214	274	334	394	454	514	574	634	694	754	814	874	934	994	1054	1114
33	93	153	213	273	333	393	453	513	573	633	693	753	813	873	933	993	1053	1113
32	92	152	212	272	332	392	452	512	572	632	692	752	812	872	932	992	1052	1112
31	91	151	211	271	331	391	451	511	571	631	691	751	811	871	931	991	1051	1111
30	90	150	210	270	330	390	450	510	570	630	690	750	810	870	930	990	1050	1110
29	89	149	209	269	329	389	449	509	569	629	689	749	809	869	929	989	1049	1109
28	88	148	208	268	328	388	448	508	568	628	688	748	808	868	928	988	1048	1108
27	87	147	207	267	327	387	447	507	567	627	687	747	807	867	927	987	1047	1107
26	86	146	206	266	326	386	446	506	566	626	686	746	806	866	926	986	1046	1106
25	85	145	205	265	325	385	445	505	565	625	685	745	805	865	925	985	1045	1105
24	84	144	204	264	324	384	444	504	564	624	684	744	804	864	924	984	1044	1104
23	83	143	203	263	323	383	443	503	563	623	683	743	803	863	923	983	1043	1103
22	82	142	202	262	322	382	442	502	562	622	682	742	802	862	922	982	1042	1102
21	81	141	201	261	321	381	441	501	561	621	681	741	801	861	921	981	1041	1101
20	80	140	200	260	320	380	440	500	560	620	680	740	800	860	920	980	1040	1100
19	79	139	199	259	319	379	439	499	559	619	679	739	799	859	919	979	1039	1099
18	78	138	198	258	318	378	438	498	558	618	678	738	798	858	918	978	1038	1098
17	77	137	197	257	317	377	437	497	557	617	677	737	797	857	917	977	1037	1097
16	76	136	196	256	316	376	436	496	556	616	676	736	796	856	916	976	1036	1096
15	75	135	195	255	315	375	435	495	555	615	675	735	795	855	915	975	1035	1095
14	74	134	194	254	314	374	434	494	554	614	674	734	794	854	914	974	1034	1094
13	73	133	193	253	313	373	433	493	553	613	673	733	793	853	913	973	1033	1093
12	72	132	192	252	312	372	432	492	552	612	672	732	792	852	912	972	1032	1092
11	71	131	191	251	311	371	431	491	551	611	671	731	791	851	911	971	1031	1091
10	70	130	190	250	310	370	430	490	550	610	670	730	790	850	910	970	1030	1090
9	69	129	189	249	309	369	429	489	549	609	669	729	789	849	909	969	1029	1089
8	68	128	188	248	308	368	428	488	548	608	668	728	788	848	908	968	1028	1088
7	67	127	187	247	307	367	427	487	547	607	667	727	787	847	907	967	1027	1087
6	66	126	186	246	306	366	426	486	546	606	666	726	786	846	906	966	1026	1086
5	65	125	185	245	305	365	425	485	545	605	665	725	785	845	905	965	1025	1085
4	64	124	184	244	304	364	424	484	544	604	664	724	784	844	904	964	1024	1084
3	63	123	183	243	303	363	423	483	543	603	663	723	783	843	903	963	1023	1083
2	62	122	182	242	302	362	422	482	542	602	662	722	782	842	902	962	1022	1082
1	61	121	181	241	301	361	421	481	541	601	661	721	781	841	901	961	1021	1081

DÉCOMPOSER EN NOMBRES PREMIERS

Quand on sait que 3 désigne la 5^{te}, 5 la 3^{ce} M, et 7 la 7^{ème} m (moins approximativement 1/6 de ton!) on peut en déduire beaucoup d'autres intervalles.

(ATTENTION: ICI POUR SIMPLIFIER ON NE TIENT PAS COMPTE DES OCTAVES. La vraie 5^{te} est 3/2, la vraie 3^{ce} M 5/4 et la vraie 7^{ème} m 7/4).

$$9 = 3 \times 3 (= \text{la } 5^{\text{te}} \text{ de la } 5^{\text{te}}) \rightarrow \text{une } 2^{\text{de}} \text{ M } (9/8)$$

$$15 = 3 \times 5 (= \text{la } 5^{\text{te}} \text{ de la } 3^{\text{ce}} \text{ M}) \rightarrow \text{une } 7^{\text{ème}} \text{ M } (15/8)$$

$$21 = 3 \times 7 (= \text{la } 5^{\text{te}} \text{ de la } 7^{\text{ème}} \text{ m}) \rightarrow \text{une } 4^{\text{te}} (21/16 \text{ au lieu de } 4/3)$$

$$25 = 5 \times 5 (= \text{la } 3^{\text{ce}} \text{ M de la } 3^{\text{ce}} \text{ M}) \rightarrow \text{une } 5^{\text{te}} \text{ aug } (25/16)$$

etc...

Ce qui dans la théorie ordinaire est un seul et unique intervalle a, en INTONATION JUSTE, plusieurs « options » distinctes qui diffèrent les unes des autres de quelques cents:

$$\log 5/4 \div \log 2 \times 1200 = 386,61 \text{ cents}$$

$$\log 81/64 \div \log 2 \times 1200 = 407,82 \text{ cents}$$

Les rapports 5/4 et 81/64 désignent deux 3^{ce} M différentes!

$$10/9 \text{ est aussi une } 2^{\text{de}} \text{ M}$$

$$243/128 \text{ est aussi une } 7^{\text{ème}} \text{ M}$$

etc...

Seuls les nombres premiers ne peuvent pas être déduits comme peuvent être déduits 9, 15, 21, 25, etc... Mais on peut toujours se faire une idée en trouvant l'équivalent en cents (calculatrice!).

Une autre façon, plus intuitive, de se faire une idée (et pas seulement pour les nombres premiers): plus le numérateur est grand par rapport au dénominateur et plus l'intervalle est grand.

257/256 est un petit intervalle, 1 023/512 est un grand intervalle.

Une dernière façon de se faire une idée: les couleurs...

NOMBRES PREMIERS: 1 2m 2M 3m 3M 4 4+ 5 6m 6M 7m 7M

60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780	840	900	960	1020	1080	1140
59	119	179	239	299	359	419	479	539	599	659	719	779	839	899	959	1019	1079	1139
58	118	178	238	298	358	418	478	538	598	658	718	778	838	898	958	1018	1078	1138
57	117	177	237	297	357	417	477	537	597	657	717	777	837	897	957	1017	1077	1137
56	116	176	236	296	356	416	476	536	596	656	716	776	836	896	956	1016	1076	1136
55	115	175	235	295	355	415	475	535	595	655	715	775	835	895	955	1015	1075	1135
54	114	174	234	294	354	414	474	534	594	654	714	774	834	894	954	1014	1074	1134
53	113	173	233	293	353	413	473	533	593	653	713	773	833	893	953	1013	1073	1133
52	112	172	232	292	352	412	472	532	592	652	712	772	832	892	952	1012	1072	1132
51	111	171	231	291	351	411	471	531	591	651	711	771	831	891	951	1011	1071	1131
50	110	170	230	290	350	410	470	530	590	650	710	770	830	890	950	1010	1070	1130
49	109	169	229	289	349	409	469	529	589	649	709	769	829	889	949	1009	1069	1129
48	108	168	228	288	348	408	468	528	588	648	708	768	828	888	948	1008	1068	1128
47	107	167	227	287	347	407	467	527	587	647	707	767	827	887	947	1007	1067	1127
46	106	166	226	286	346	406	466	526	586	646	706	766	826	886	946	1006	1066	1126
45	105	165	225	285	345	405	465	525	585	645	705	765	825	885	945	1005	1065	1125
44	104	164	224	284	344	404	464	524	584	644	704	764	824	884	944	1004	1064	1124
43	103	163	223	283	343	403	463	523	583	643	703	763	823	883	943	1003	1063	1123
42	102	162	222	282	342	402	462	522	582	642	702	762	822	882	942	1002	1062	1122
41	101	161	221	281	341	401	461	521	581	641	701	761	821	881	941	1001	1061	1121
40	100	160	220	280	340	400	460	520	580	640	700	760	820	880	940	1000	1060	1120
39	99	159	219	279	339	399	459	519	579	639	699	759	819	879	939	999	1059	1119
38	98	158	218	278	338	398	458	518	578	638	698	758	818	878	938	998	1058	1118
37	97	157	217	277	337	397	457	517	577	637	697	757	817	877	937	997	1057	1117
36	96	156	216	276	336	396	456	516	576	636	696	756	816	876	936	996	1056	1116
35	95	155	215	275	335	395	455	515	575	635	695	755	815	875	935	995	1055	1115
34	94	154	214	274	334	394	454	514	574	634	694	754	814	874	934	994	1054	1114
33	93	153	213	273	333	393	453	513	573	633	693	753	813	873	933	993	1053	1113
32	92	152	212	272	332	392	452	512	572	632	692	752	812	872	932	992	1052	1112
31	91	151	211	271	331	391	451	511	571	631	691	751	811	871	931	991	1051	1111
30	90	150	210	270	330	390	450	510	570	630	690	750	810	870	930	990	1050	1110
29	89	149	209	269	329	389	449	509	569	629	689	749	809	869	929	989	1049	1109
28	88	148	208	268	328	388	448	508	568	628	688	748	808	868	928	988	1048	1108
27	87	147	207	267	327	387	447	507	567	627	687	747	807	867	927	987	1047	1107
26	86	146	206	266	326	386	446	506	566	626	686	746	806	866	926	986	1046	1106
25	85	145	205	265	325	385	445	505	565	625	685	745	805	865	925	985	1045	1105
24	84	144	204	264	324	384	444	504	564	624	684	744	804	864	924	984	1044	1104
23	83	143	203	263	323	383	443	503	563	623	683	743	803	863	923	983	1043	1103
22	82	142	202	262	322	382	442	502	562	622	682	742	802	862	922	982	1042	1102
21	81	141	201	261	321	381	441	501	561	621	681	741	801	861	921	981	1041	1101
20	80	140	200	260	320	380	440	500	560	620	680	740	800	860	920	980	1040	1100
19	79	139	199	259	319	379	439	499	559	619	679	739	799	859	919	979	1039	1099
18	78	138	198	258	318	378	438	498	558	618	678	738	798	858	918	978	1038	1098
17	77	137	197	257	317	377	437	497	557	617	677	737	797	857	917	977	1037	1097
16	76	136	196	256	316	376	436	496	556	616	676	736	796	856	916	976	1036	1096
15	75	135	195	255	315	375	435	495	555	615	675	735	795	855	915	975	1035	1095
14	74	134	194	254	314	374	434	494	554	614	674	734	794	854	914	974	1034	1094
13	73	133	193	253	313	373	433	493	553	613	673	733	793	853	913	973	1033	1093
12	72	132	192	252	312	372	432	492	552	612	672	732	792	852	912	972	1032	1092
11	71	131	191	251	311	371	431	491	551	611	671	731	791	851	911	971	1031	1091
10	70	130	190	250	310	370	430	490	550	610	670	730	790	850	910	970	1030	1090
9	69	129	189	249	309	369	429	489	549	609	669	729	789	849	909	969	1029	1089
8	68	128	188	248	308	368	428	488	548	608	668	728	788	848	908	968	1028	1088
7	67	127	187	247	307	367	427	487	547	607	667	727	787	847	907	967	1027	1087
6	66	126	186	246	306	366	426	486	546	606	666	726	786	846	906	966	1026	1086
5	65	125	185	245	305	365	425	485	545	605	665	725	785	845	905	965	1025	1085
4	64	124	184	244	304	364	424	484	544	604	664	724	784	844	904	964	1024	1084
3	63	123	183	243	303	363	423	483	543	603	663	723	783	843	903	963	1023	1083
2	62	122	182	242	302	362	422	482	542	602	662	722	782	842	902	962	1022	1082
1	61	121	181	241	301	361	421	481	541	601	661	721	781	841	901	961	1021	1081

CHAPITRE II

L'INTONATION JUSTE

ARTISTES

Les musiciens traditionnels du monde entier jouent en INTONATION JUSTE sans forcément le savoir. Ce qui explique pourquoi ils laissent parfois abâtardir leur musique par le tempérament à 12 (ou 24) demi-tons égaux par octave...

En suivant la voie tracée par Harry PARTCH (qui construisait ses propres instruments, et a écrit le livre GENESIS OF A MUSIC) des musiciens actuels se sont mis à jouer en INTONATION JUSTE *en toute connaissance de cause*.

En voici quelques uns:

Bill ALVES, Lydia AYERS, David BEARDSLEY, Glenn BRANCA, Thaddeus CAHILL, David CANRIGHT, Wendy CARLOS, Jon CATLER, David DOTY, Dean DRUMMOND, Jacques DUDON, Carl EITZ, Cris FORSTER, Glenn FRANTZ, Eller FULLMAN, Kyle GANN, Denny GENOVESE, Kraig GRADY, Lou HARRISON, Michael HARRISON, Barbara HERO, Ralph David HILL, Jim NORTON, David HYKES, Ben JOHNSTON, Douglas LEEDY, Max MEYER, Joe MONZO, Kenneth NEWBY, Norbert OLDANI, Pauline OLIVEROS, Wilfried PERRETT, Larry POLANSKY, Rod POOLE, Robert RICH, Terry RILEY, Dante ROSATI, Daniel SCHMIDT, John SCHNEIDER, Carter SCHOLZ, Dan SENN, Jules SIEGEL, Shohei TANAKA, James TENNEY, Toby TWINING, Scott WILKINSON, Erling WOLD, Daniel WOLF, La Monte YOUNG...

Ils jouent de la musique symphonique, rock, électronique, planante, acoustique, exotique...

The Just Intonation Primer (David DOTY) 535 Stevenson Street, San Francisco, CA 94103, USA

LA SÉRIE DES HARMONIQUES INFÉRIEURES

A été rendue audible en 1927 par Balthasar van der POL.

1 est toujours la fréquence fondamentale, mais elle est au plus aigu.

Il faut visualiser « ÷ par » devant chaque nombre pour imaginer la fréquence.

Plus les nombres augmentent et plus c'est grave, et plus les intervalles entre les notes se rétrécissent.

Dans une série, les rapports de fréquences d'harmoniques inférieures sont caractérisés (quand les fractions ne sont pas simplifiées) par un numérateur commun.

C'est le numérateur qui représente l'harmonique la plus grave.

La section de 14 à 7 correspond à l'ÉCHELLE AULOS et ses *modes planétaires* de Kathleen SCHLESSINGER.

14/14	14/13	14/12	14/11	14/10	14/9	14/8	14/7
LUNE	MERCURE	VÉNUS	SOLEIL	MARS	JUPITER	SATURNE	LUNE

Les intervalles entre 2 rapports se calculent comme d'habitude.

LUNE:	1/1	14/13	7/6	14/11	7/5	14/9	7/4	2/1
MERCURE:	1/1	13/12	13/11	13/10	13/9	13/8	13/7	2/1
VÉNUS:	1/1	12/11	6/5	4/3	3/2	12/7	24/13	2/1
SOLEIL:	1/1	11/10	11/9	11/8	11/7	22/13	11/6	2/1
MARS:	1/1	10/9	5/4	10/7	20/13	5/3	20/11	2/1
JUPITER:	1/1	9/8	9/7	18/13	3/2	18/11	9/5	2/1
SATURNE:	1/1	8/7	16/13	4/3	16/11	8/5	16/9	2/1

Pour trouver les nombres harmoniques il faut enlever les *dénominateurs*, trouver le PPCM et *diviser* chaque rapport par le PPCM.

VÉNUS a un accord mineur sur le 1^{er} degré: 1/1 6/5 3/2 (12 10 8 ou 6 5 4).

Plus on monte vers l'aigu et plus les intervalles s'élargissent.

Pour jouer la série de 14 à 7 (et au-delà) sur une guitare: diviser, sur le manche, l'octave la plus grave en 7 parties *de longueurs égales*, et continuer au-delà de l'octave avec les mêmes dimensions. Il manquera de plus en plus de notes mais c'est normal: voir tableau ci-contre où entre 7 et 6 il n'y a pas l'octave supérieure de 13 (pour trouver l'octave supérieur d'une harmonique inférieure il faut *diviser son numéro* par 2).

Seules les harmoniques paires ont une octave supérieure.

La note la plus aiguë serait le 1, le zéro étant le chevalet.

POUR DES GAMMES SANS OCTAVE: diviser la longueur totale de la corde *par un nombre impair* (15 ou 17 par exemple) et diviser le manche par cette dimension. La note qui correspond à 15 ou 17 sera la fondamentale (corde à vide), et il n'y aura pas d'octave si vous évitez les notes qui correspondent à des nombres pairs !

NOTE: les anciens grecs vous auraient MASSACRÉ pour cette *hérésie*...

Les effets subtils de la musique (Daniel PERRET) Le Souffle d'Or, BP 05300 Barret-Le-Bas – FRANCE

Ein Weg zur Erweiterung des Tonerlebens (Heiner RULAND) Verlag die Pforte, Bâle – SUISSE

Le paradis perdu de MU (Louis-Claude VINCENT) A.B.E., 5 rue du Colonel, 49190 Denée – FRANCE

HARMONIQUES INFÉRIEURES

Aigu
zéro

1081	1021	961	901	841	781	721	661	601	541	481	421	361	301	241	181	121	61	1 Sat
1082	1022	962	902	842	782	722	662	602	542	482	422	362	302	242	182	122	62	2 Sat
1083	1023	963	903	843	783	723	663	603	543	483	423	363	303	243	183	123	63	3 Vén
1084	1024	964	904	844	784	724	664	604	544	484	424	364	304	244	184	124	64	4 Sat
1085	1025	965	905	845	785	725	665	605	545	485	425	365	305	245	185	125	65	5 Mar
1086	1026	966	906	846	786	726	666	606	546	486	426	366	306	246	186	126	66	6 Vén
1087	1027	967	907	847	787	727	667	607	547	487	427	367	307	247	187	127	67	7 Lun
1088	1028	968	908	848	788	728	668	608	548	488	428	368	308	248	188	128	68	8 Sat
1089	1029	969	909	849	789	729	669	609	549	489	429	369	309	249	189	129	69	9 Jup
1090	1030	970	910	850	790	730	670	610	550	490	430	370	310	250	190	130	70	10 Mar
1091	1031	971	911	851	791	731	671	611	551	491	431	371	311	251	191	131	71	11 Sol
1092	1032	972	912	852	792	732	672	612	552	492	432	372	312	252	192	132	72	12 Vén
1093	1033	973	913	853	793	733	673	613	553	493	433	373	313	253	193	133	73	13 Mer
1094	1034	974	914	854	794	734	674	614	554	494	434	374	314	254	194	134	74	14 Lun
1095	1035	975	915	855	795	735	675	615	555	495	435	375	315	255	195	135	75	15
1096	1036	976	916	856	796	736	676	616	556	496	436	376	316	256	196	136	76	16 Sat
1097	1037	977	917	857	797	737	677	617	557	497	437	377	317	257	197	137	77	17
1098	1038	978	918	858	798	738	678	618	558	498	438	378	318	258	198	138	78	18 Jup
1099	1039	979	919	859	799	739	679	619	559	499	439	379	319	259	199	139	79	19
1100	1040	980	920	860	800	740	680	620	560	500	440	380	320	260	200	140	80	20 Mar
1101	1041	981	921	861	801	741	681	621	561	501	441	381	321	261	201	141	81	21
1102	1042	982	922	862	802	742	682	622	562	502	442	382	322	262	202	142	82	22 Sol
1103	1043	983	923	863	803	743	683	623	563	503	443	383	323	263	203	143	83	23
1104	1044	984	924	864	804	744	684	624	564	504	444	384	324	264	204	144	84	24 Vén
1105	1045	985	925	865	805	745	685	625	565	505	445	385	325	265	205	145	85	25
1106	1046	986	926	866	806	746	686	626	566	506	446	386	326	266	206	146	86	26 Mer
1107	1047	987	927	867	807	747	687	627	567	507	447	387	327	267	207	147	87	27
1108	1048	988	928	868	808	748	688	628	568	508	448	388	328	268	208	148	88	28 Lun
1109	1049	989	929	869	809	749	689	629	569	509	449	389	329	269	209	149	89	29
1110	1050	990	930	870	810	750	690	630	570	510	450	390	330	270	210	150	90	30
1111	1051	991	931	871	811	751	691	631	571	511	451	391	331	271	211	151	91	31
1112	1052	992	932	872	812	752	692	632	572	512	452	392	332	272	212	152	92	32 Sat
1113	1053	993	933	873	813	753	693	633	573	513	453	393	333	273	213	153	93	33
1114	1054	994	934	874	814	754	694	634	574	514	454	394	334	274	214	154	94	34
1115	1055	995	935	875	815	755	695	635	575	515	455	395	335	275	215	155	95	35
1116	1056	996	936	876	816	756	696	636	576	516	456	396	336	276	216	156	96	36 Jup
1117	1057	997	937	877	817	757	697	637	577	517	457	397	337	277	217	157	97	37
1118	1058	998	938	878	818	758	698	638	578	518	458	398	338	278	218	158	98	38
1119	1059	999	939	879	819	759	699	639	579	519	459	399	339	279	219	159	99	39
1120	1060	1000	940	880	820	760	700	640	580	520	460	400	340	280	220	160	100	40 Mar
1121	1061	1001	941	881	821	761	701	641	581	521	461	401	341	281	221	161	101	41
1122	1062	1002	942	882	822	762	702	642	582	522	462	402	342	282	222	162	102	42
1123	1063	1003	943	883	823	763	703	643	583	523	463	403	343	283	223	163	103	43
1124	1064	1004	944	884	824	764	704	644	584	524	464	404	344	284	224	164	104	44 Sol
1125	1065	1005	945	885	825	765	705	645	585	525	465	405	345	285	225	165	105	45
1126	1066	1006	946	886	826	766	706	646	586	526	466	406	346	286	226	166	106	46
1127	1067	1007	947	887	827	767	707	647	587	527	467	407	347	287	227	167	107	47
1128	1068	1008	948	888	828	768	708	648	588	528	468	408	348	288	228	168	108	48 Vén
1129	1069	1009	949	889	829	769	709	649	589	529	469	409	349	289	229	169	109	49
1130	1070	1010	950	890	830	770	710	650	590	530	470	410	350	290	230	170	110	50
1131	1071	1011	951	891	831	771	711	651	591	531	471	411	351	291	231	171	111	51
1132	1072	1012	952	892	832	772	712	652	592	532	472	412	352	292	232	172	112	52 Mer
1133	1073	1013	953	893	833	773	713	653	593	533	473	413	353	293	233	173	113	53
1134	1074	1014	954	894	834	774	714	654	594	534	474	414	354	294	234	174	114	54
1135	1075	1015	955	895	835	775	715	655	595	535	475	415	355	295	235	175	115	55
1136	1076	1016	956	896	836	776	716	656	596	536	476	416	356	296	236	176	116	56 Lun
1137	1077	1017	957	897	837	777	717	657	597	537	477	417	357	297	237	177	117	57
1138	1078	1018	958	898	838	778	718	658	598	538	478	418	358	298	238	178	118	58
1139	1079	1019	959	899	839	779	719	659	599	539	479	419	359	299	239	179	119	59
1140	1080	1020	960	900	840	780	720	660	600	540	480	420	360	300	240	180	120	60

Grave

L'INTONATION « TRADITIONNELLE »

C'est une suite de 5^{tes} justes ($3/2$) ramenées dans l'octave.

Au niveau des harmoniques, ce sont les puissances de 3 ramenées dans l'octave (d'où parfois l'appellation «LIMITE 3»).

Considérée comme idéale pour les mélodies non accompagnées, sauf éventuellement d'un bourdon (fondamentale seule, ou fondamentale avec 5^{te} $3/2$) *mais peut faire plus*.

Système attribué à PYTHAGORE mais connu avant lui, entre autres par les perses, indiens, chinois, et même sumériens!

1 °) Tonique (1/1)

2 °) 5^{te} ($3/2$)

3 °) 5^{te} de la 5^{te}: $3/2 \times 3/2 = 9/4$ (= la 2^{de} M $9/8$ si on divise par 2)

4 °) 5^{te} de la 2^{de} M: $9/8 \times 3/2 =$ la 6^{te} M $27/16$

5 °) 5^{te} de la 6^{te} M: $27/16 \times 3/2 = 81/32$ (= la 3^{ce} M $81/64$ si on divise par 2)

Ces 5 premières notes donnent l'échelle PENTATONIQUE la plus répandue dans le monde:

512 ^(1°)	576 ^(3°)	648 ^(5°)	768 ^(2°)	864 ^(4°)
KONG	SHANG	KIO	TCHE	YU

On peut changer de tonique tout en gardant les mêmes notes: ça change le MODE (donc les intervalles).

6 °) 5^{te} de la 3^{ce} M: $81/64 \times 3/2 =$ la 7^{ème} M $243/128$

7 °) 5^{te} de la 7^{ème} M: $243/128 \times 3/2 = 729/256$ (= la 4^{te} aug $729/512$ si on divise par 2).

Voici maintenant l'échelle DIATONIQUE au complet:

512 ^(1°)	576 ^(3°)	648 ^(5°)	729 ^(7°)	768 ^(2°)	864 ^(4°)	972 ^(6°)
LYDIEN	MIXOLYDIEN	EOLIEN	LOCRIEN	IONIEN	DORIEN	PHRYGIEN

(Ci-dessus, les noms grecs des modes sont ceux unanimement adoptés aujourd'hui. Il faut cependant savoir qu'ils sont tous faux historiquement: GLAREAN s'est trompé en 1547 et, *en plus*, les grecs notaient les intervalles en descendant!).

Page suivante: la suite étendue aux 12 premières notes (les 12 LÜ chinois).

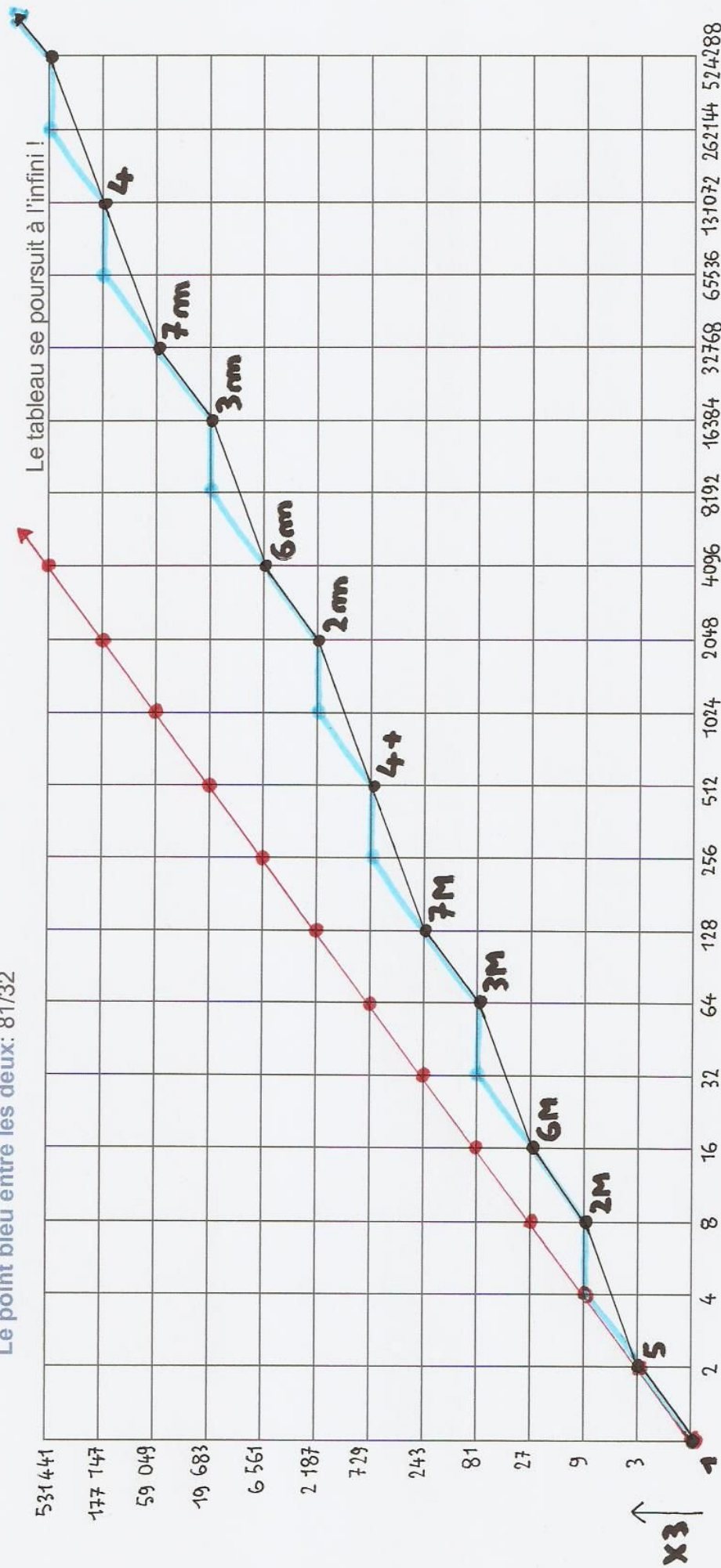
LA SUITE DES QUINTES

Pour interpréter un point on lit d'abord les puissances de 3 (verticales) ensuite les puissances de 2 (horizontales).

Le 5^{ème} point rouge: 81/16

Le 5^{ème} point noir: 81/64

Le point bleu entre les deux: 81/32



En rouge: la pure suite de 5^{es} de 5^{es} ...

En bleu: la suite des 5^{es} (avec division par 2 chaque fois que le résultat dépasse l'octave).

En noir: la gamme chromatique obtenue par succession de 5^{es}.

÷2

LE LIMITE 3

avec 12 notes : 23 intervalles
(1 schisma = 32 805 / 32 768)

Nombres harmoniques

	177 147 / 131 072	3+	27 / 20 x 1 schisma	
	59 049 / 32 768	6+	9 / 5 x 1 schisma	
	19 683 / 16 384	2+	6 / 5 x 1 schisma	
	6 561 / 4 096	5+	8 / 5 x 1 schisma	
	2 187 / 2 048	1+	APOTOMÉ (petit diaton + 1 schisma)	C#
177 147	729 / 512	4+	64 / 45 x 1 schisma	F#
236 196	243 / 128	7M	256 / 135 x 1 schisma	B
157 464	81 / 64	3M	DITON	E
209 952	27 / 16	6M		A
139 968	9 / 8	2M		D
186 624	3 / 2	5		G
124 416	1 / 1	1		C
165 888	4 / 3	4		F
221 184	16 / 9	7m		Bb
147 456	32 / 27	3m		Eb
196 608	128 / 81	6m		Ab
131 072	256 / 243	2m	LIMMA (grand chroma – 1 schisma)	Db
	1 024 / 729	5-	45 / 32 ÷ 1 schisma	
	4 096 / 2 187	8-	15 / 8 ÷ 1 schisma	
	8 192 / 6 561	4-	5 / 4 ÷ 1 schisma	
	32 768 / 19 683	7-	5 / 3 ÷ 1 schisma	
	65 536 / 59 049	3-	10 / 9 ÷ 1 schisma	
	262 144 / 177 147	6-	" LOUP " (40 / 27 ÷ 1 schisma)	

Ce système est caractérisé par un petit demi-ton diatonique (le LIMMA de 90,22 cents) et un grand demi-ton chromatique (l'APOTOMÉ de 113,68 cents). En fait TOUS les intervalles (sauf unisson et octave) sont doubles. ATTENTION: pour l'oreille 1+ est une 2^{de} m et 8- une 7^{ème} M!

JUSQU'AUX 22 SHRUTIS

La suite des 5^{tes} est *infinie*: comme on ne peut pas avoir un nombre de notes infini, la dernière note, sur laquelle on s'arrête, n'a pas de 5^{te} juste (3/2)...

Si on accordait un piano de RÉb à FA#, en croyant jouer FA# - DO# on jouerait en fait FA# - RÉb. (DO# est plus aigu que l'octave de RÉb de 531 441/524 288 ou COMMA PYTHAGORICIEN).

LA 5^{te} DU LOUP EST EN RÉALITÉ UNE 6^{te} DIMINUÉE!

L'octave de 256/243 est 512/243, et $512/243 \div 729/512 = 262\,144/177\,147$ (au lieu de 3/2). La note est 23,46 cents plus basse que prévu!

Les tierces 81/64 ne sont pas aussi belles (quand on joue en accords) que les 5/4. *Cependant il y a une tonalité (MI MAJEUR) dont les accords I, IV et V ont des « tierces » 8 192/6 561 (5/4 à 1 schisma près, c'est-à-dire 1,95 cent, c'est-à-dire pas grand-chose pour l'oreille humaine!).*

En réalité ces 8 192/6 561 sont des 4^{tes} DIMINUEES (MI/LAb, LA/RÉb et SI/Mib). Il y aussi les 2^{des} AUGMENTÉES 19 683/16 384 ($\approx 6/5$): RÉb/MI, LAb/SI et Mib/FA#.

Ironie: avec un piano « PYTHAGORE » en DO, on aurait pu, *sans rien changer*, jouer quasi « ZARLINO » en MI...

Si on continue la série jusqu'à 17 on obtient le système perse, jusqu'à 22 on a les SHRUTIS indiens. C'est le « tempérament schismique » d'HELMOLTZ.

Db C#	Ab G#	Eb D#	Bb A#	F E#	C B#	G F##	D C##	A G##	E D##	B	F#
1 13	2 14	3 15	4 16	5 17	6 18	7 19	8 20	9 21	10 22	11	12

Jusqu'à 24 on aurait chaque note doublée à un comma...

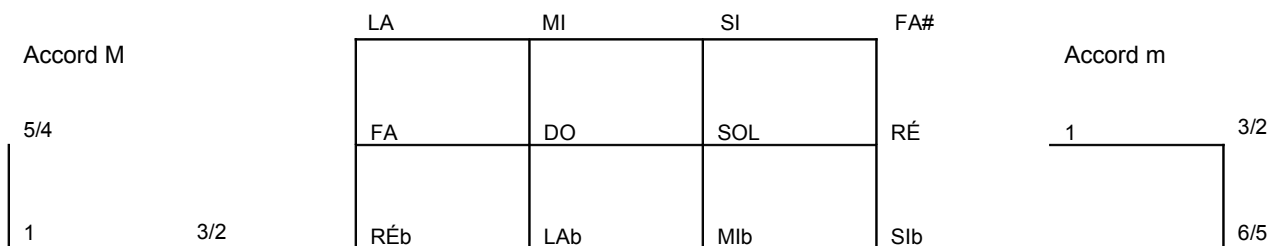
20 notes auraient suffi pour avoir « PYTHAGORE » et « ZARLINO *au schisma près* » en un!

LE LIMITE 5

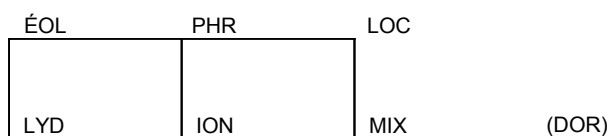
Connu sous le nom de « gamme naturelle » ou de « gamme des physiciens ».

Système attribué à Gioseffo ZARLINO (1517 – 1590) mais déjà connu de Ptolémée (100 – 170) qui consiste à remplacer, si on prend l'exemple de DO « majeur » (*ionien* plus précisément, car le mixolydien et le lydien sont eux aussi des modes majeurs) les trois 3^{ces} M 81/64 (de DO, FA et SOL) par des 3^{ces} M 5/4.

Ci-dessous, la représentation en treillis (d'après John Alexander ELLIS) d'une extension à 12 notes (DUODÈNE de DO). Vers la droite: x 3/2, vers le haut: x 5/4. Les octaves ne sont pas prises en compte.



Avec 12 notes: 6 accords majeurs et 6 accords mineurs.



L'échelle diatonique avec 3 accords majeurs et 2 accords mineurs, le DORIEN est sacrifié.



L'échelle diatonique avec 3 accords mineurs et 2 accords majeurs, le MIXOLYDIEN est sacrifié.

LE LIMITE 5 à 53 notes

Ne pas confondre avec le cycle de MERCATOR!

Contrairement au limite 3, le SOL# (G# -) est plus grave que le LAb (Ab +)

D# - - -	A# - - -	E# - - -	B# - - -	F## - - -	C## - - -	G## - - -	D## - - -
B -	F# - -	C# - -	G# - -	D# - -	A# - -	E# - -	B# - -
G -	D -	A -	E -	B -	F# -	C# -	G# -
Eb	Bb	F	C	G	D	A	E
Cb +	Gb +	Db +	Ab +	Eb +	Bb +	F +	C +
Abb ++	Ebb ++	Bbb ++	Fb ++	Cb ++	Gb ++	Db ++	Ab ++
Fbb +++	Cbb +++	Gbb +++	Dbb +++	Abb +++	Ebb +++		

- = comma syntonique en moins
+ = comma syntonique en plus
b = apotomé en moins
= apotomé en plus
- = grand chroma en plus
b + = grand chroma en moins
- - = petit chroma en plus
b ++ = petit chroma en moins
de C à D = ton majeur (9/8)
de C à D - = ton mineur (10/9)
de C à C# - = grand chroma (135/128)
de C à C# - - = petit chroma (25/34)
de C à Db ++ = grand diaton (27/25)
de C à Db + = petit diaton (16/15)
de C à Ebb ++ = grand ton (256/225)
de A à Cb + = petit ton (4096/3645)

Chaque ligne horizontale représente le LIMITE 3, qui s'étend à droite avec une infinité de #, et à gauche avec une infinité de b.

Toutefois le tableau est limité à 8 colonnes pour éviter le SCHISMA entre 2 lignes (voir page suivante): 2 notes qui diffèrent seulement d'un schisma sont identiques pour l'oreille humaine.

Le tableau s'étend aussi vers le haut avec une infinité de -, et vers le bas avec une infinité de +

MAIS JAMAIS ON NE TROUVERA 2 NOTES PARFAITEMENT IDENTIQUES.

LES COMMAS DU LIMITE 5

SCHISMA : à la limite de l'audible, c'est la différence entre le comma syntonique et le comma pythagoricien (< 2 cents)

COMMA PYTHAGORICIEN : la différence (en limite 3) entre la 6^{te} dim et la 5^{te} (>23 cents)

COMMA SYNTONIQUE : la différence entre 5/4 et 81/64, les tons m et M, le petit et le grand diaton, le petit et le grand comma (> 21 cents)

GRAND COMMA : la différence entre le petit chroma et le grand diaton (< 63 cents)

COMMA ENHARMONIQUE : la différence entre par exemple SOL#... et LAB+ (> 41 cents)

PETIT COMMA : la différence entre le grand chroma et le petit diaton (< 20 cents)

KLEISMA (15625/15552) : page précédente, de Ebb+++ à D#... (> 8 cents)

$$32\ 805/32\ 768 \times 2\ 048/2\ 025 = 81/80$$

$$81/80 \times 32\ 805/32\ 768 = 531\ 441/524\ 288$$

$$81/80 \times 2\ 048/2\ 025 = 128/125$$

$$81/80 \times 128/125 = 648/625$$



LE DUODENE ET SES 35 INTERVALLES

(Quintes vers la droite et tierces majeures vers le haut : les octaves sont sous-entendues)

<u>50</u> 27	<u>25</u> 18	<u>25</u> 24	<u>25</u> 16	<u>75</u> 64	<u>225</u> 128	<u>675</u> 512
<u>40</u> 27	<u>10</u> 9	<u>5</u> 3	<u>5</u> 4	<u>15</u> 8	<u>45</u> 32	<u>135</u> 128
<u>32</u> 27	<u>16</u> 9	<u>4</u> 3	<u>1</u> 1	<u>3</u> 2	<u>9</u> 8	<u>27</u> 16
<u>256</u> 135	<u>64</u> 45	<u>16</u> 15	<u>8</u> 5	<u>6</u> 5	<u>9</u> 5	<u>27</u> 20
<u>1024</u> 675	<u>256</u> 225	<u>128</u> 75	<u>32</u> 25	<u>48</u> 25	<u>36</u> 25	<u>27</u> 25

ÉCHELLES NON DIATONIQUES

Quelques exemples de ce qu'on a loupé avant de passer au MÉSOTONIQUE...

F 72 fa		Am 90 la	Bm 100 si	108 do	D 120 ré	135 mi	F → DFAmBm, AmFD ⁷ F, BmF 144 fa	
C 24 do	75 fa# do#	Em 30 mi	F 32 fa	36 sol	A 40 la	45 si	C → CAFC, ACEmF 48 do	
C 120 do	135 ré	E 150 mi	Fm 160 fa	G 180 sol	192 sol#	225 si	C → CFmCG, GFmCG 240 do	
Cm 120 do	135 ré	144 mib	F 160 fa	G 180 sol	200 la	225 si	Cm → GFCmG 240 do	
Dm 360 do	400 ré	Fm 450 mi	480 fa	Am 576 lab	600 la	675 si	→ DmFmAmDm 720 do	
Am 120 la	135 si	144 do	Dm 160 ré	E 180 mi	192 fa	225 sol#	Am → DmAmE ⁷ Am, EDm 240 la	
C 120 do	144 ré#	Em 150 mi	F ⁷ 160 fa	180 sol	Am 200 la	225 si	C → CEmF ⁷ C, AmF ⁷ CEm 240 do	
C 40 do	45 ré	50 mi	54 fa	G 60 sol	A# 72 la#	75 si	C → CGA#C, GA#CG, A#CGA# 80 do	
E 120 mi	F 128 fa	G#m 150 sol#	Am 160 la	180 si	192 do	225 ré#	E → AmG#mFAm 240 mi	
C ^{7/4} 120 do	D# 144 ré#	Em 150 mi	160 fa	180 sol	216 sib	225 si	C ^{7/4} → EmD#C ^{7/4} C 240 do	
72 do	75 do#	F 90 mi	Gbm 96 fa	A 100 solb	120 la	135 si	→ AFGbmF 144 do	
Dm 120 ré	135 mi	144 fa	150 fa#	A 180 la	Bm 200 si	225 do#	Dm → BmDmABm, ABmDmA 240 ré	
A 40 la	45 si	48 do	50 do#	E 60 mi	F 64 fa	75 sol#	→ AFEA 80 la	
Fm 40 fa	45 sol	Ab 48 lab	54 sib	C 60 do	Eb 72 mib	75 mi	→ CEbFmC, EbAbCFm 80 fa	
F 120 mi	128 fa	Am 135 fa#	B 160 la	180 si	192 do	225 ré#	→ BFAmB 240 mi	
C 360 do	384 réb	Em 450 mi	480 fa	540 sol	Bbm 640 sib	675 si	C → CEmBbmC 720 do	
F 40 fa	45 sol	Ab 48 lab	50 la	C 60 do	72 mib	75 mi	F → CFAbC, FΔ AbΔ 80 fa	
F 24 fa	25 fa#	27 sol	30 la	C 36 do	D 40 ré	45 mi	F → CDfC 48 fa	
Am 120 fa	Cm 135 sol	Dm 150 la	180 do	200 ré	216 mib	225 mi	→ AmCmDmAm 240 fa	

HARMONIQUES IMPAIRES : TRITAVES et PUISSANCES DE 7

59	119	179	239	299	359	419	479	539	599	659	719	779	839	899	959	1019	1079	1139
57	117	177	237	297	357	417	477	537	597	657	717	777	837	897	957	1017	1077	1137
55	115	175	235	295	355	415	475	535	595	655	715	775	835	895	955	1015	1075	1135
53	113	173	233	293	353	413	473	533	593	653	713	773	833	893	953	1013	1073	1133
51	111	171	231	291	351	411	471	531	591	651	711	771	831	891	951	1011	1071	1131
49	109	169	229	289	349	409	469	529	589	649	709	769	829	889	949	1009	1069	1129
47	107	167	227	287	347	407	467	527	587	647	707	767	827	887	947	1007	1067	1127
45	105	165	225	285	345	405	465	525	585	645	705	765	825	885	945	1005	1065	1125
43	103	163	223	283	343	403	463	523	583	643	703	763	823	883	943	1003	1063	1123
41	101	161	221	281	341	401	461	521	581	641	701	761	821	881	941	1001	1061	1121
39	99	159	219	279	339	399	459	519	579	639	699	759	819	879	939	999	1059	1119
37	97	157	217	277	337	397	457	517	577	637	697	757	817	877	937	997	1057	1117
35	95	155	215	275	335	395	455	515	575	635	695	755	815	875	935	995	1055	1115
33	93	153	213	273	333	393	453	513	573	633	693	753	813	873	933	993	1053	1113
31	91	151	211	271	331	391	451	511	571	631	691	751	811	871	931	991	1051	1111
29	89	149	209	269	329	389	449	509	569	629	689	749	809	869	929	989	1049	1109
27	87	147	207	267	327	387	447	507	567	627	687	747	807	867	927	987	1047	1107
25	85	145	205	265	325	385	445	505	565	625	685	745	805	865	925	985	1045	1105
23	83	143	203	263	323	383	443	503	563	623	683	743	803	863	923	983	1043	1103
21	81	141	201	261	321	381	441	501	561	621	681	741	801	861	921	981	1041	1101
19	79	139	199	259	319	379	439	499	559	619	679	739	799	859	919	979	1039	1099
17	77	137	197	257	317	377	437	497	557	617	677	737	797	857	917	977	1037	1097
15	75	135	195	255	315	375	435	495	555	615	675	735	795	855	915	975	1035	1095
13	73	133	193	253	313	373	433	493	553	613	673	733	793	853	913	973	1033	1093
11	71	131	191	251	311	371	431	491	551	611	671	731	791	851	911	971	1031	1091
9	69	129	189	249	309	369	429	489	549	609	669	729	789	849	909	969	1029	1089
7	67	127	187	247	307	367	427	487	547	607	667	727	787	847	907	967	1027	1087
5	65	125	185	245	305	365	425	485	545	605	665	725	785	845	905	965	1025	1085
3	63	123	183	243	303	363	423	483	543	603	663	723	783	843	903	963	1023	1083
1	61	121	181	241	301	361	421	481	541	601	661	721	781	841	901	961	1021	1081

CHAPITRE III

LES TEMPÉRAMENTS HISTORIQUES

LES TEMPÉRAMENTS

Ce sont des compromis qui sacrifient un peu la justesse pour avoir plus de possibilités (au niveau des transpositions chères à la musique classique occidentale) **avec seulement 12 notes par octave.**

Dans le cas des MÉSOTONIQUES on favorise les tierces au détriment des 5^{tes}. Il y a toujours une dernière note qui n'a pas de 5^{te}, mais un *loup*.

Les 5^{tes} étant régulières, ces tempéraments peuvent être *approchés* par des divisions égales de l'octave: 19 pour le 1/3 de comma syntonique, 50 pour le 2/7 de comma syntonique, 31 pour le 1/4 de comma syntonique, 43 pour le 1/5 de comma syntonique et 67 (55 est moins précis) pour le 1/6 de comma syntonique...

En se basant sur le mésotonique du 1/4 de comma syntonique, les TEMPÉRAMENTS FRANÇAIS remplacent le loup par un *reliquat* (moins important!) au détriment de la régularité des 5^{tes}.

Les TEMPÉRAMENTS ALLEMANDS et ITALIENS diluent le loup dans plusieurs 5^{tes} (SILBERMANN, qui peut être approché par l'octave divisée en 55 parties égales, est une exception qui contredit la règle!).

À part l'octave plus aucun intervalle n'est parfaitement juste (ou très peu le sont) mais par contre TOUTES LES TONALITÉS SONT PRATICABLES.

Toutefois les tonalités ne sont pas identiques, chacune a un caractère qui lui est propre, ce qui donne tout leur sens aux transpositions.

Les irrégularités ne sont pas un « problème » mais une *richesse*.

Ceci est aussi valable pour les MÉSOTONIQUES, à la différence qu'avec ceux-ci toutes les tonalités ne sont pas praticables.

**Le tempérament égal n'a jamais été une *nécessité*.
Et BACH ne l'a jamais utilisé.**

LES SYSTÈMES « PYTHAGORICIENS » ET « ZARLINIENS » (MAJEUR ET MINEUR) NE SONT PAS DES TEMPÉRAMENTS, puisqu'ils ne font aucun compromis.

Mathématiques des systèmes acoustiques (Franck JEDRZEJEWSKI) L'Harmattan

Gammes, Accords, Tempéraments (Dominique AMANN) Le Paradou E, 166 av. Georges Leygues, 83100 Toulon, FRANCE

MUSIQUE ET TEMPÉRAMENT (Pierre-Yves ASSELIN) Éditions JOBERT

LE TEMPÉRAMENT MUSICAL (Dominique DEVIE) Musicreprints - Musica Restituta

<http://perso.wanadoo.fr/organ-au-logis/Pages/Temperam.htm>

LES TEMPÉRAMENTS MÉSOTONIQUES

$$F\sharp^- (5/4)$$

(32/27) F $\frac{3}{2}$ C $\frac{3}{2}$ G $\frac{3}{2}$ **D** $\frac{3}{2}$ A $\frac{3}{2}$ E $\frac{3}{2}$ B $\frac{3}{2}$ F# (81/64)

$$F^+ (6/5)$$

F# est plus aigu que $F\sharp^-$ d'un comma syntonique ($= 81/64 \div 5/4 = 81/80$).

De **D** à F# il y a 4 quintes: donc si on retranche à chaque quinte un quart de 81/80 (ça reste acceptable pour l'oreille) F# et $F\sharp^-$ vont coïncider. F# deviendra en fait 5/4 au lieu de 81/64.

F est plus grave que F^+ de 81/80.

De **D** à F il y a des quintes descendantes et puisque'elles sont maintenant toutes diminuées d'un quart de comma syntonique elles descendent moins.

F est à 3 quintes de **D**, il est donc réhaussé de $\frac{3}{4}$ de comma, il ne manque plus qu'un seul quart pour qu'il coïncide avec F^+ .

Toutes les quintes sont diminuées d'1/4 de comma syntonique. La dernière des 12 notes n'a pas de quinte mais une 6^{te} diminuée.

Les 3^{ces} M sont des 5/4 mais à cause du « raccord » (le LOUP) il y en a 4 qui sont plus aiguës d'un comma enharmonique.

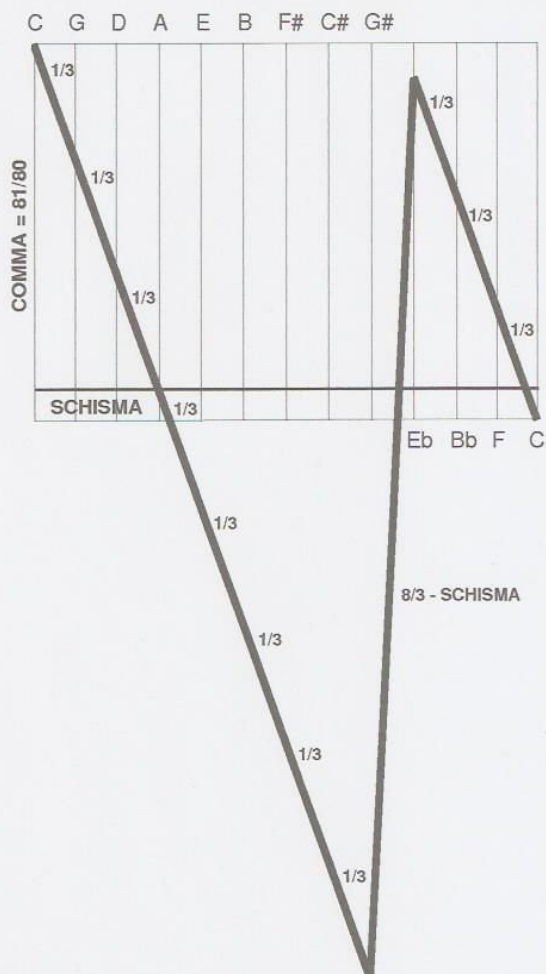
Les 3^{ces} m sont des 6/5 diminuées d'1/4 de comma syntonique mais toujours à cause du « raccord » il y en a 3 qui sont encore plus grave d'un comma enharmonique.

Le MÉSOTONIQUE DU 1/3 DE COMMA SYNTONIQUE fait coïncider les 3^{ces} m (32/27 avec 6/5) mais les 3^{ces} M et les 5^{tes} sont plus graves d'1/3 de comma syntonique. Et le loup est encore plus affamé!

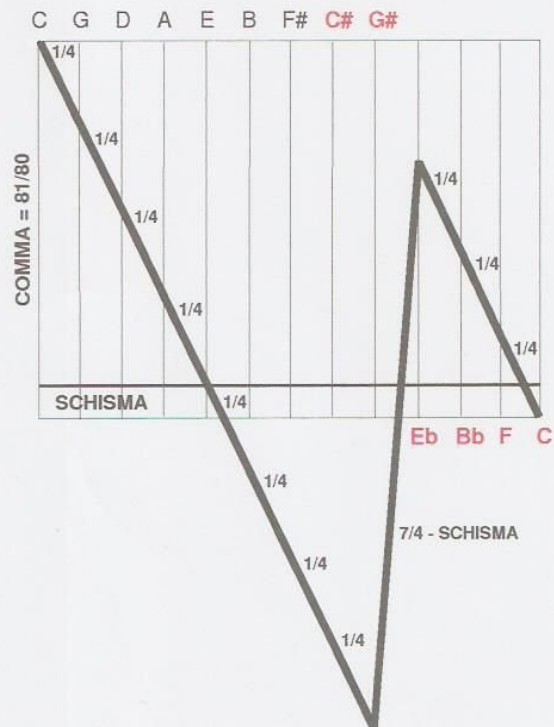
Le mésotonique « standard » est le mésotonique du 1/4 de comma syntonique.

LES MÉSOTONIQUES

DU 1/3 DE COMMA SYNTONIQUE

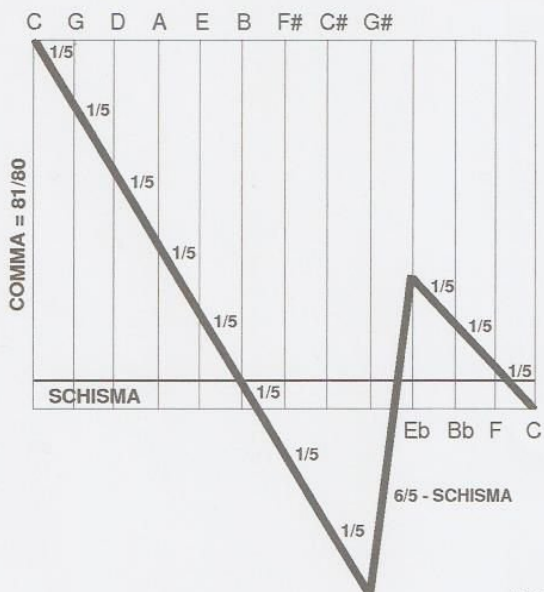


DU 1/4 DE COMMA SYNTONIQUE

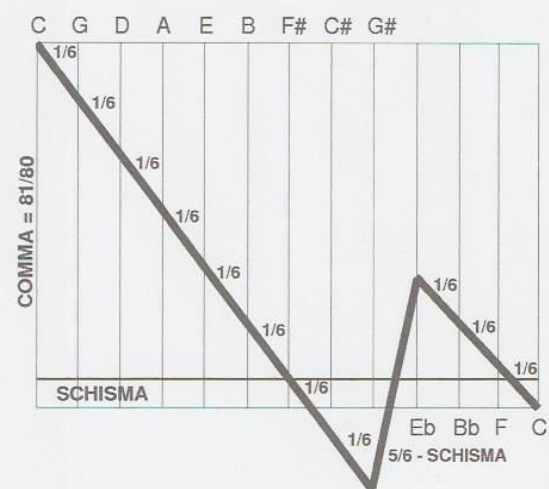


Remarque de Jacques DUDON:
SLENDRO en C# approché à $\approx 3\text{c}...$
→ $7/4(-3,1\text{c})$ de Eb à C#, et de Bb à G#!
($7/4$ se rapporte à la 7^{ème} harmonique
et non à 7 quarts de comma syntonique!)

DU 1/5 DE COMMA SYNTONIQUE

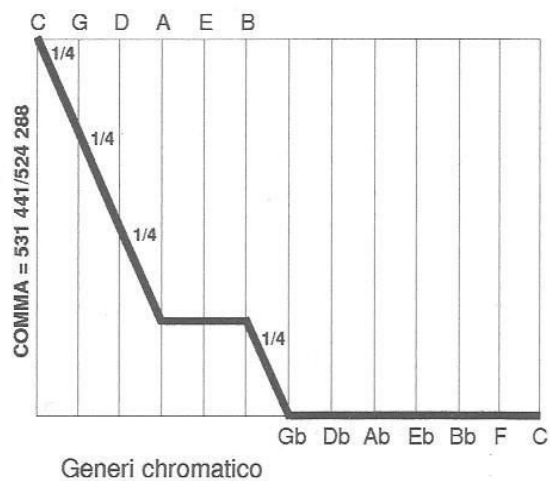


DU 1/6 DE COMMA SYNTONIQUE

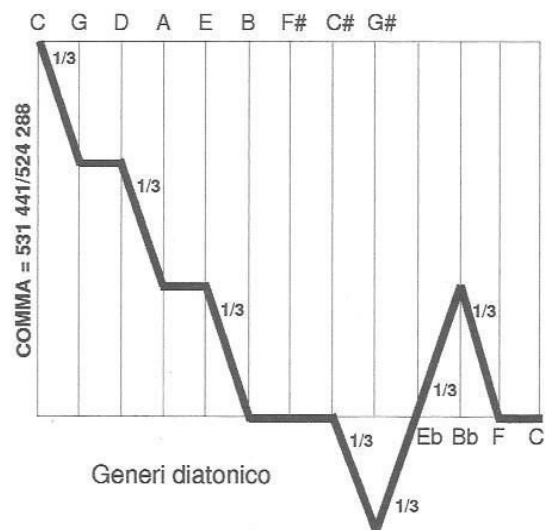


Andreas WERKMEISTER (1691)

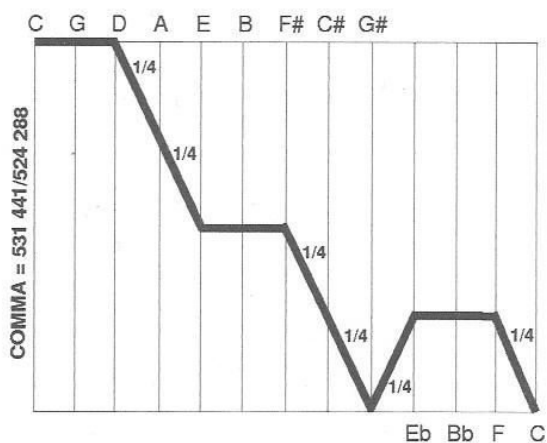
WERKMEISTER III



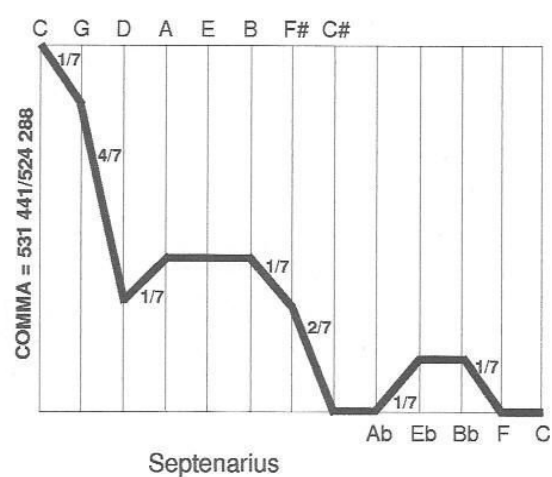
WERKMEISTER IV



WERKMEISTER V

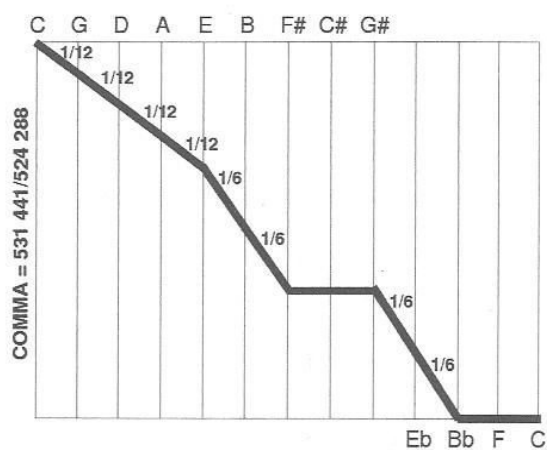


WERKMEISTER VI

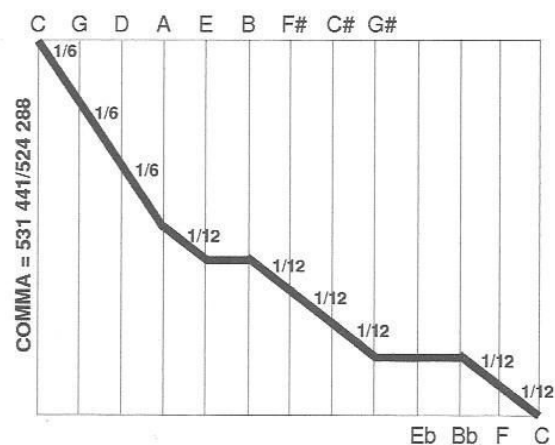


Johann Georg NEIDHARDT (1724)

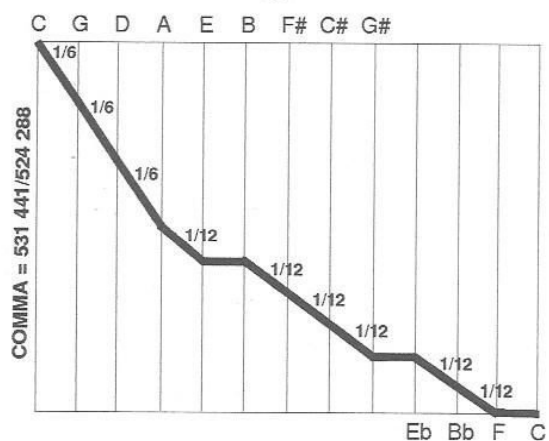
Für ein Dorf



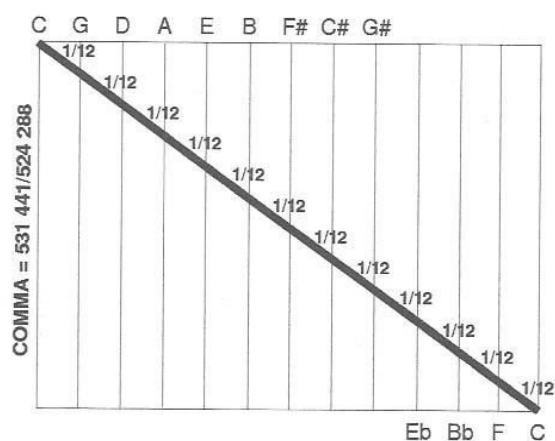
Für eine kleine Stadt



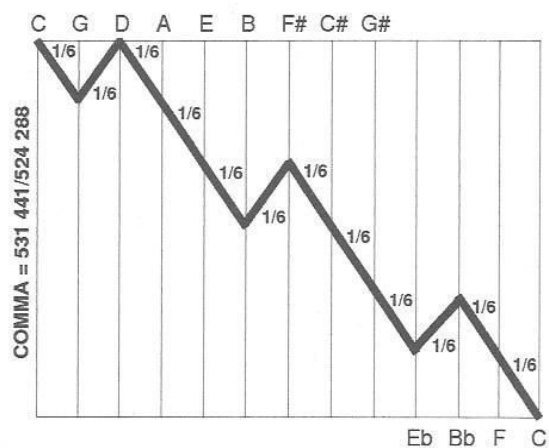
Für eine große Stadt



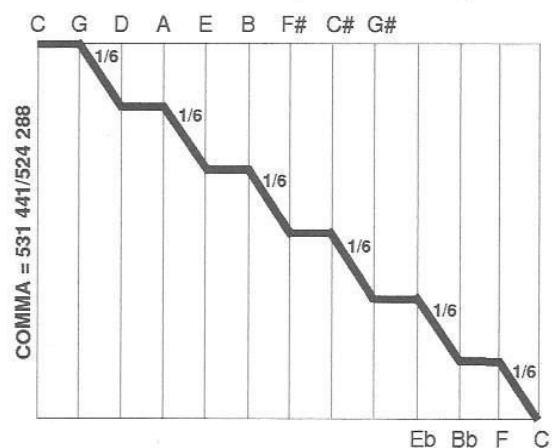
Für den Hof



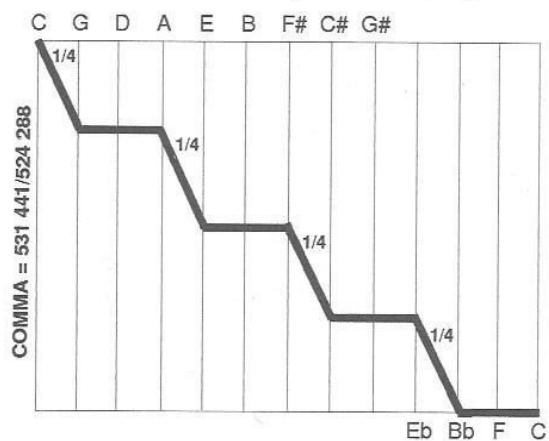
NEIDHARDT V



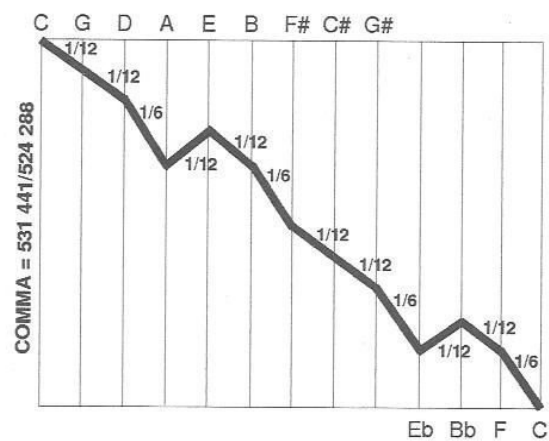
NEIDHARDT VI (= MARPUG F)



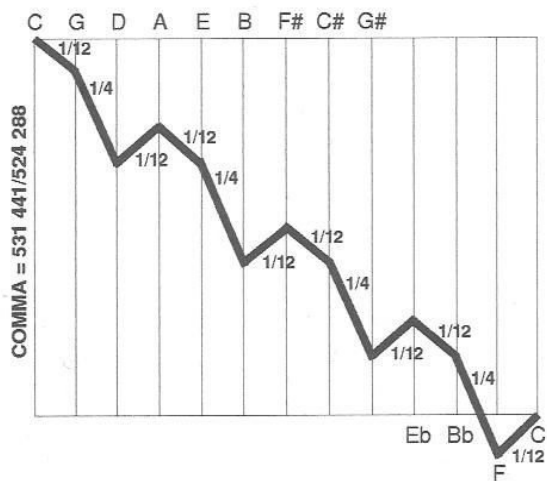
NEIDHARDT VII (= MARPUG H)



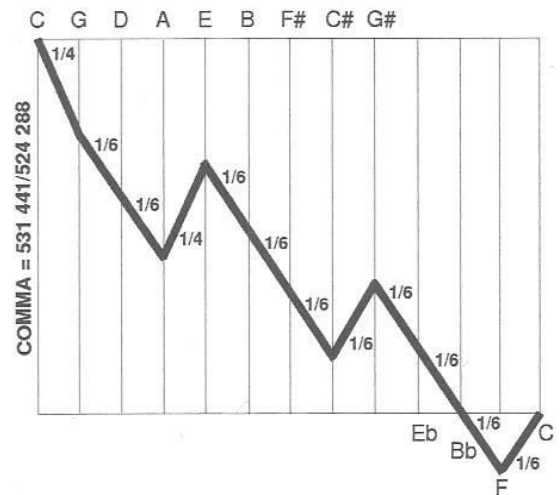
NEIDHARDT VIII



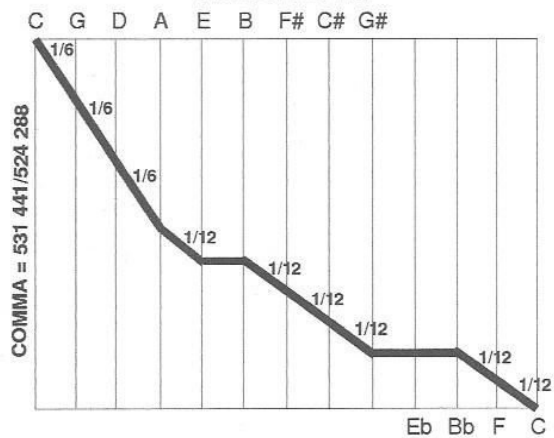
NEIDHARDT IX



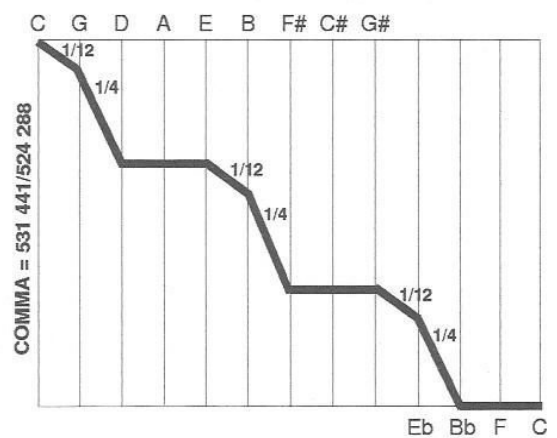
NEIDHARDT X



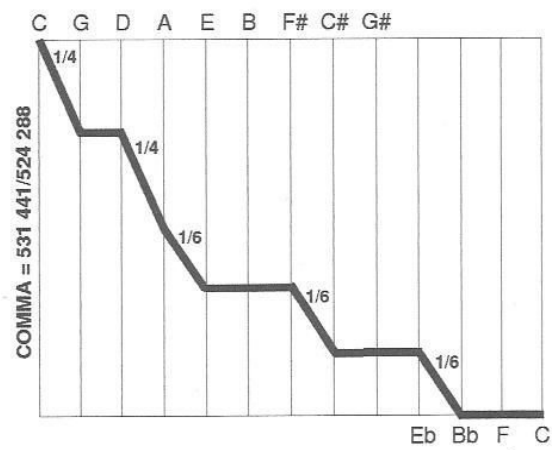
NEIDHARDT XI



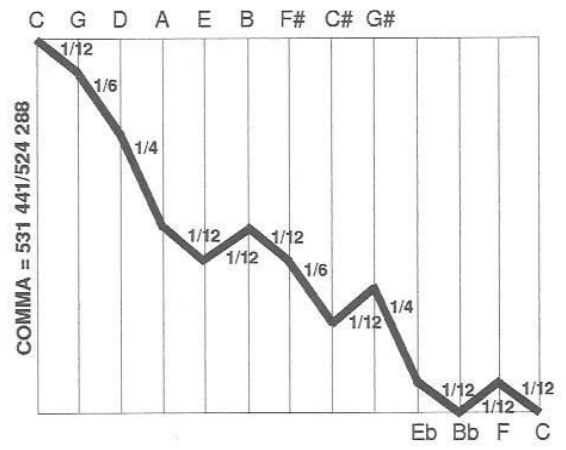
NEIDHARDT XII



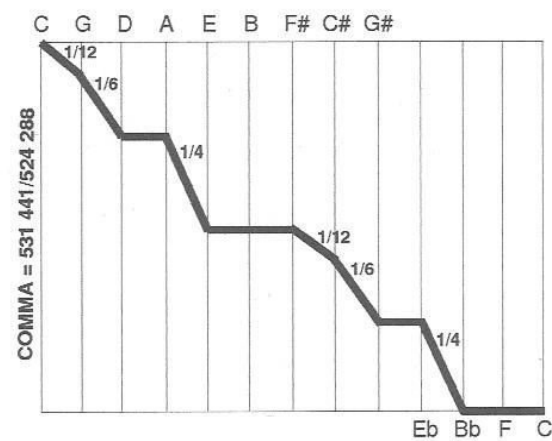
NEIDHARDT XIII



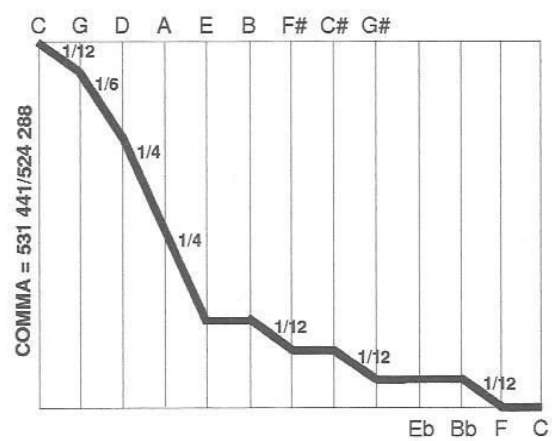
NEIDHARDT XIV



NEIDHARDT XV



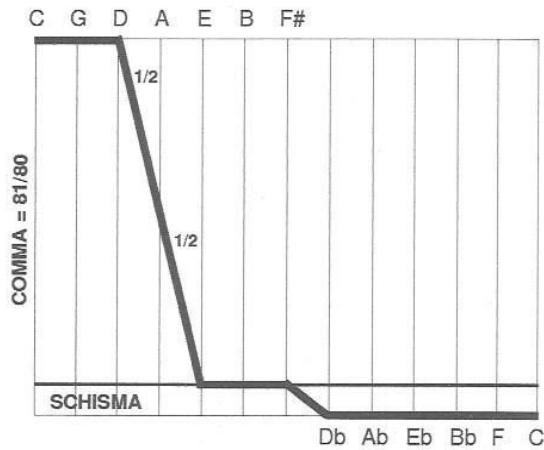
NEIDHARDT XVI



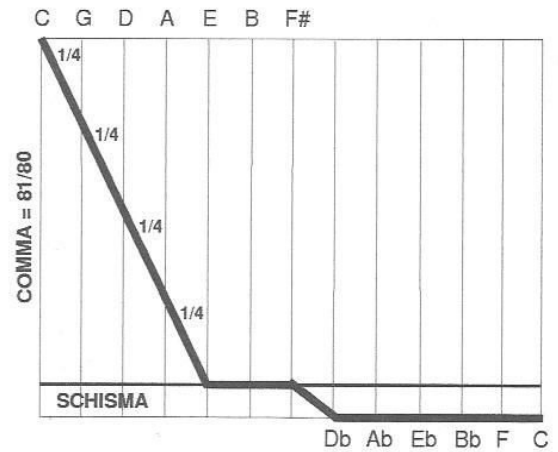
Johann Philipp KIRNBERGER

Le KIRNBERGER I n'est pas un tempérament mais un système d'INTONATION JUSTE (limite 5)...

KIRNBERGER II (1766)

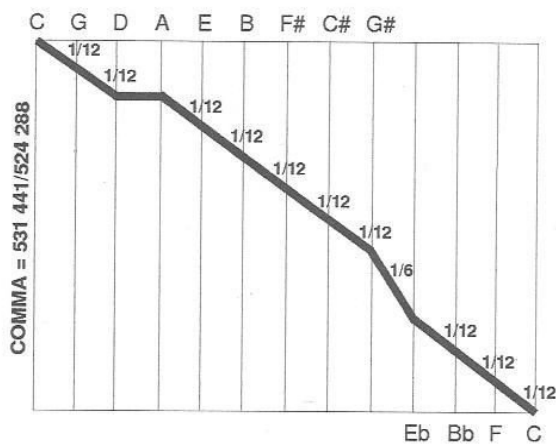


KIRNBERGER III (1779)

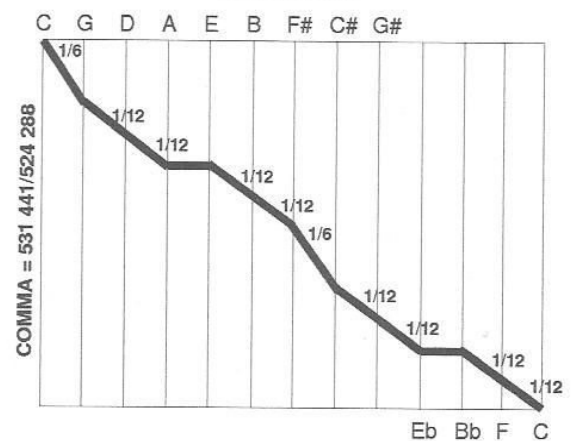


Friedrich Wilhelm MARPUG

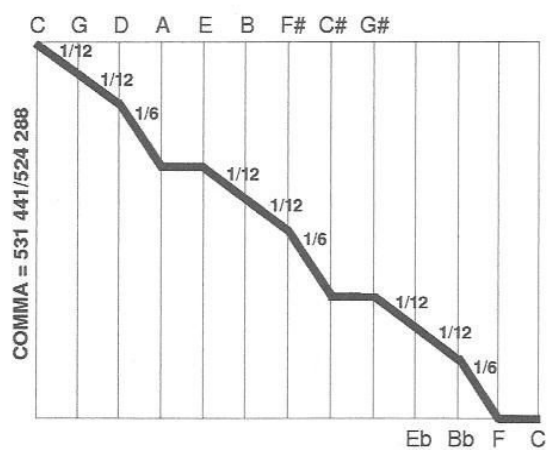
MARPUG A



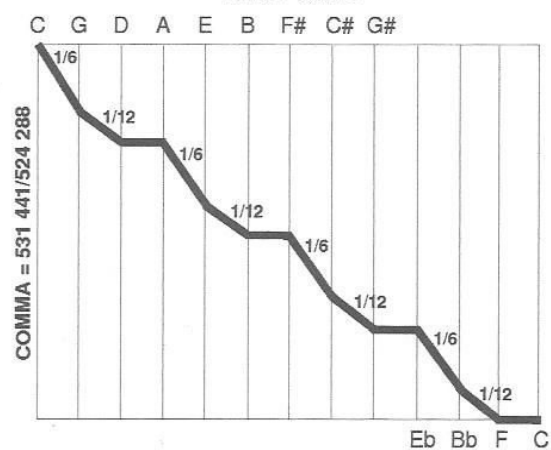
MARPUG B



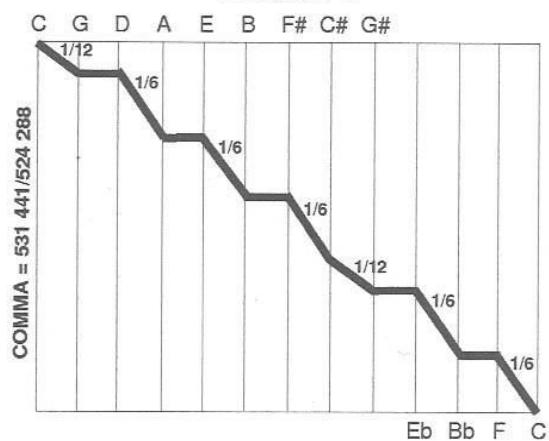
MARPUG C



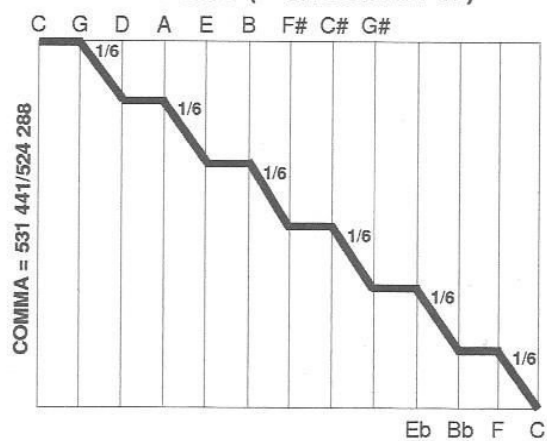
MARPUG D



MARPUG E

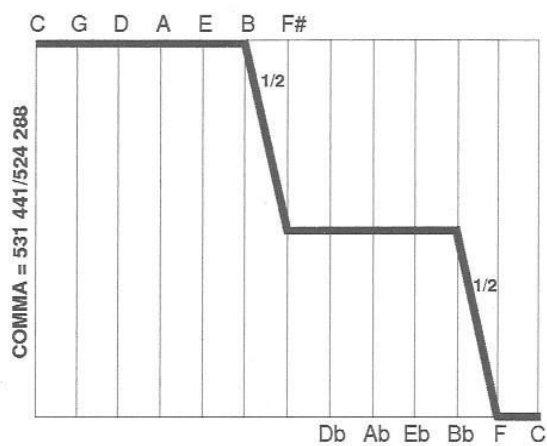


MARPUG F (= NEIDHARDT VI)

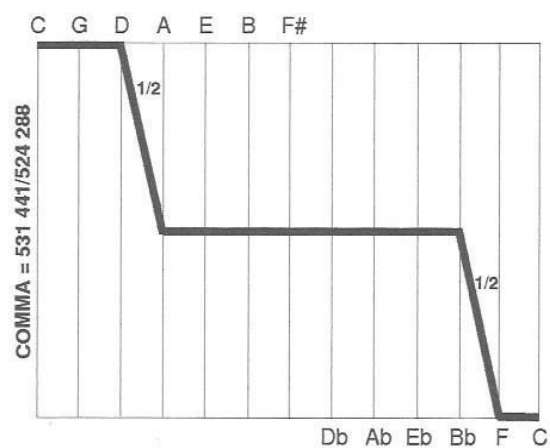


Christian Ludwig Gustav von WIESE

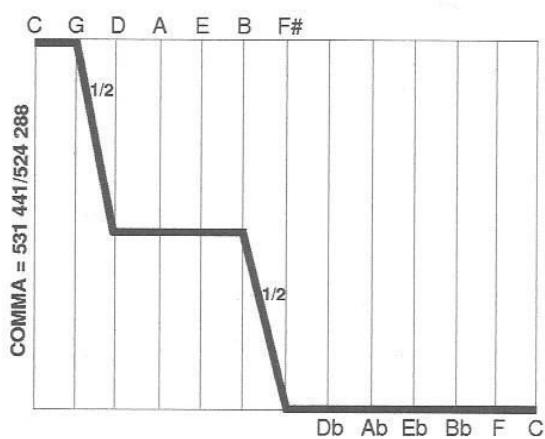
Von WIESE I (1791)



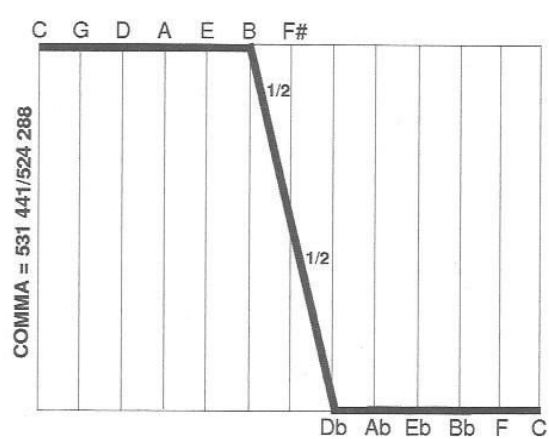
Von WIESE II (1791)



Von WIESE III (1791)



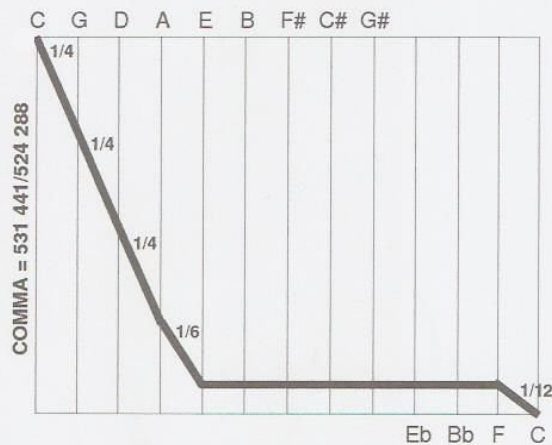
Von WIESE IV (1795)



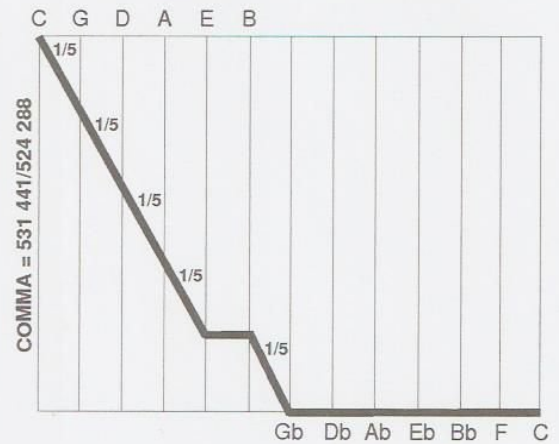
Spéculations sur le tempérament de BACH

<http://www-personal.umich.edu/~bpl/larips/bachtemps.html>

Herbert KELLETAT (1966)

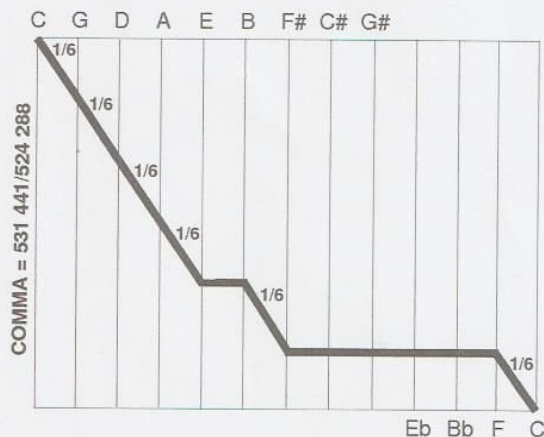


Herbert Anton KELLNER (1975)

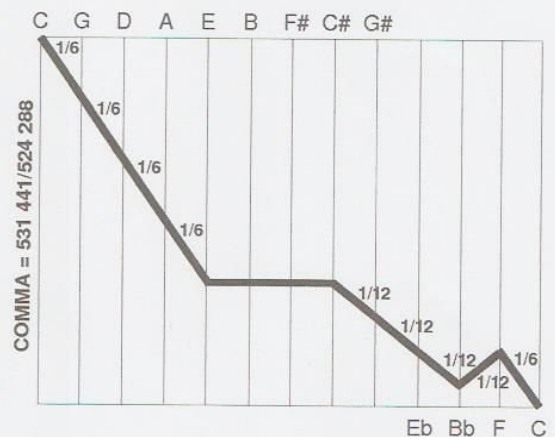


<http://ha.kellner.bei.t-online.de>

John BARNES (1979)



Bradley LEHMAN (2005)



Basé sur une étude statistique
des tierces des 24 Préludes de BACH

CHAPITRE IV

INTONATION IRRATIONNELLE

QUELQUES UNITÉS DE MESURE

DIÉSIS DE FOKKER: 1/31 d'octave

Inventé par Adriaan FOKKER pour nommer les intervalles de l'octave divisée en 31 parties égales.

MÉRIDE: 1/43 d'octave

Inventé par Joseph SAUVEUR en 1696.

MERCATOR: 1/53 d'octave

D'après le *cycle de MERCATOR*.

MORION (MORIA au pluriel): 1/72 d'octave

Inventé par CLEONIDES vers 100?

SAVART: 1/301 d'octave

Inventé par Joseph SAUVEUR (=1/7 de méride) en 1696, préconisé par Félix SAVART pour calculer sans logarythmes.

IRING: 1/600 d'octave

Inventé par Widogast IRING en 1898 pour approcher le schisma.

WOOLHOUSE: 1/730 d'octave

Inventé par Wesley WOOLHOUSE en 1835 (3/2 et 5/4 sont approchés de très près dans l'octave divisée en 730 parties égales).

MILLIOCTAVE: 1/1000 d'octave

Inventée par Arthur Joachim von OETTINGEN en 1913 comme alternative au cent (pour ne pas favoriser la division en 12 parties égales de l'octave).

CENT (centième): 1/1200 d'octave

Inventé par Gaspard RICHE, baron de PRONY.

IOTA: 1/1700 d'octave

Inventé par Margo SCHULTER en 2002 pour mesurer les intervalles de l'octave divisée en 17 parties égales.

TÜRK SENT: 1/10600 d'octave

Inventé par Ekrem KARADENIZ (=1/200 de mercator).

JOT: 1/30103 d'octave

Inventé par Augustus De MORGAN pour calculer les intervalles sans avoir besoin des logarythmes de base 10.

HEKT: 1/13000 de tritave

Inventé par Heinz BOHLEN en 1978 pour mesurer les intervalles de l'échelle BOHLEN-PIERCE tempérée.

GRAD: 1/12 de comma pythagoricien

Inventé par Andreas WERKMEISTER: la différence entre 3/2 et 700 cents.

UNITÉ DE TEMPÉRAMENT: 1/720 de comma pythagoricien

Inventé par John BROMBAUGH (= 1/60 de grad).

DIVISIONS ÉGALES DE L'OCTAVE

Juliàn CARILLO, Alois HÁBA et Ivan WYSHNEGRADSKY ont surtout composé en quarts, huitièmes et seizièmes de tons (24, 48 et 96) ainsi qu'en tiers, sixièmes et douzièmes de tons (18, 36 et 72).

Ivor DARREG (1917 – 1994) a « franchi le mur du ton » et a composé en toutes les divisions égales de l'octave de 9 à 53.

Easley BLACKWOOD a composé à partir du 13^{ème} d'octave jusqu'au 24^{ème} d'octave.

ATTENTION: même si ça y ressemble, les SLENDROS et le système THAÏ KHMER (qu'on retrouve aussi en Afrique!) ne sont pas des divisions égales de l'octave.

Systèmes où $3/2$ est approché à au moins 10 cents:

12 (24, 36, 48), 55, 43, 31, 50, 19(38), 45, 52 → 5^{tes} plus petites,
et 53, 41, 29, 46, 17(34, 51), 39, 22(44), 49, 27(54) → 5^{tes} plus grandes.

Pour calculer combien il y a de cents entre chaque degré du 12:

$$\text{Log } 12 \sqrt{2} \div \log 2 \times 1200 = 100 \text{ cents}$$

Pour les autres divisions égales de l'octave, remplacer 12 par un autre nombre.

Pour calculer en Hz les notes du 11 à partir du LA 440 :

440 (appuyer sur EXE pour sauvegarder) $\times 11 \sqrt{2} = 468,6180793 = 499,0975097...$ à chaque fois qu'on appuie on obtient la fréquence des notes en Hz, jusqu'à l'octave 880.

Les systèmes à intervalles réguliers permettent des transpositions à l'identique, mais, *par définition*, interdisent toute nuance entre différentes tonalités (à moins de compenser par un nombre élevé de divisions et de ne plus transposer *exactement!*).

Les systèmes à nombre peu élevé de divisions égales sont plus *monotones* que l'INTONATION JUSTE ou les TEMPÉRAMENTS, mais la monotonie peut avoir un charme...

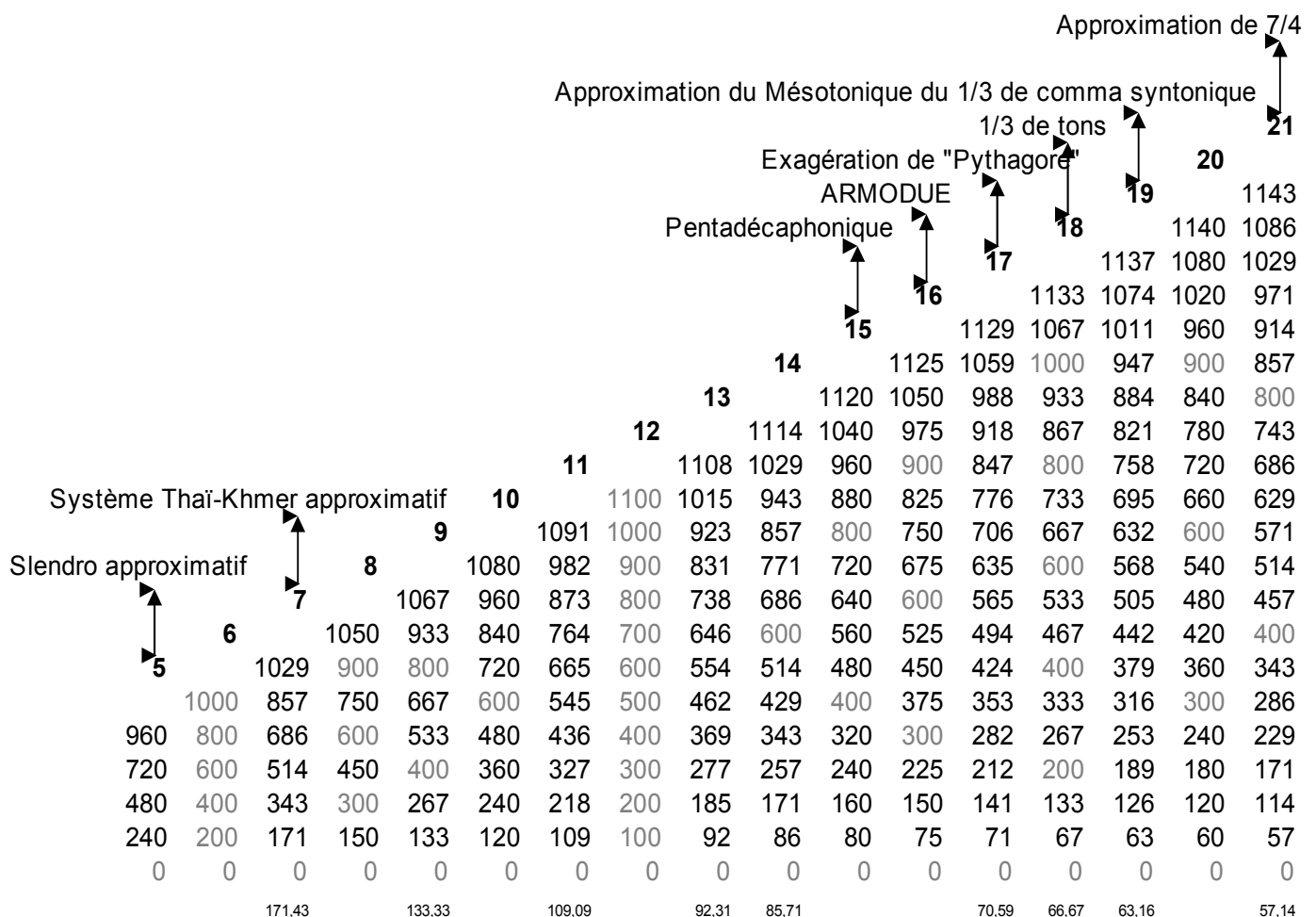
Ils sont aussi plus simples et les instruments sont plus faciles à fabriquer.

Le 12 (celui qu'on voudrait nous faire croire qu'il est le seul à exister!) pourrait convenir à des musiciens amateurs qui feraient le choix de ne pas être trop pointus (ni curieux!) et de ne pas investir dans le matériel autant que les professionnels.

RACINES DE 2 : de 5^{ème} à 21^{ème}

En cents (parfois arrondis) Les numéros gris sont les points communs avec 12

- 7 : Clem FORTUNA, Aaron Krister JOHNSON
 10 : Luc ÉTIENNE, Gary MORRISON, William SETHARES, Mats ÖLJARE, Aaron Krister JOHNSON
 11 : Margo SCHULTER, William SETHARES
 13 : John CHALMERS, William SETHARES, Paul RAPOPORT, Skip La PLANTE,
 Buzz KIMBALL, David FINNAMORE
 14 : Ralph JARZOMBKE
 15 : Buzz KIMBALL
 17 : William SETHARES, Mats ÖLJARE, Buzz KIMBALL, Aaron Krister JOHNSON
 18 : Ferruccio BUSONI, Maurice OHANA
 19 : Jeff STAYTON, Neil HAVERSTICK, Matthew PUZAN, Erik GRISWOLD,
 Harold FORTUIN, William MEADOWS, Buzz KIMBALL, Patrick OZZARD-LOW,
 Mats ÖLJARE, Brian Mac LAREN, William SETHARES, Joseph PEHRSON,
 Joël MANDELBAUM.
 20 : Dan STEARNS



RACINES DE 2 : de 22^{ème} à 38^{ème}

En cents (parfois arrondis). Les numéros gris sont les points communs avec 12/2

22 : Paul ERLICH, Buzz KIMBALL

24 : Björn FONGAARD, John EATON, Don ELLIS, Charles IVES...

26 : Paul ERLICH

29 : Mats ÖLJARE

30 : Jean-Etienne MARIE

31 : Adriaan FOKKER, George SECOR, Joël MANDELBAUM, Patrick OZZARD-LOW,

Neil HAVERSTICK, Buzz KIMBALL, Mats ÖLJARE

41 : Patrick OZZARD-LOW

48 : Jean-Étienne MARIE, Pascal DUSAPIN, Joseph PEHRSON

53 : Josip Stolcer SLAVENSKI

55 : Approximation de MOZART (d'après Paul ERLICH)

																1/6 de tons					
																		37		38	
																		36		1168	
																cycle de HUYGENS		35		1168 1137	
(approximation du Mésotonique du 1/4 de comma syntonique, et de 7/4)																34		1167 1135 1105			
																1/5 de tons		33		1166 1133 1103 1074	
																		32		1165 1131 1100 1070 1042	
																		31		1164 1129 1097 1067 1038 1011	
																30				1163 1127 1094 1063 1033 1005 979	
																				1161 1125 1091 1059 1029 1000 973 947	
approximation de 7/4																29				1160 1123 1088 1055 1024 994 967 941 916	
																28				1159 1120 1084 1050 1018 988 960 933 908 884	
système arabe																27				1157 1117 1080 1045 1013 982 953 926 900 876 853	
tempéré																				1156 1114 1076 1040 1006 975 945 918 891 867 843 821	
																26				1154 1111 1071 1034 1000 968 938 909 882 857 833 811 789	
																25				1152 1108 1067 1029 993 960 929 900 873 847 823 800 778 758	
																24				1150 1104 1062 1022 986 952 920 990 863 836 812 789 767 746 726	
																23				1148 1100 1056 1015 978 943 910 880 852 825 800 776 754 733 714 695	
																22				1145 1096 1050 1008 969 933 900 869 840 813 788 764 741 720 700 681 663	
																				1091 1043 1000 960 923 889 857 828 800 774 750 727 706 686 667 649 632	
																				1036 991 950 912 877 844 814 786 760 735 713 691 671 651 633 616 600	
																				982 939 900 864 831 800 771 745 720 697 675 655 635 617 600 584 568	
																				927 887 850 816 785 756 729 703 680 658 638 618 600 583 567 551 537	
																				873 835 800 768 738 711 686 662 640 619 600 582 565 549 533 519 505	
																				818 783 750 720 692 667 643 621 600 581 563 545 529 514 500 486 474	
																				764 730 700 672 646 622 600 579 560 542 525 509 494 480 467 454 442	
																				709 678 650 624 600 578 557 538 520 503 488 473 459 446 433 422 411	
																				655 626 600 576 554 533 514 497 480 465 450 436 424 411 400 389 379	
																				600 574 550 528 508 489 471 455 440 426 413 400 388 377 367 357 347	
																				545 522 500 480 462 444 429 414 400 387 375 364 353 343 333 324 316	
																				491 470 450 432 415 400 386 372 360 348 338 327 318 309 300 292 284	
																				436 417 400 384 369 356 343 331 320 310 300 291 282 274 267 259 253	
																				382 365 350 336 323 311 300 290 280 271 263 255 247 240 233 227 221	
																				327 313 300 288 277 267 257 248 240 232 225 218 212 206 200 195 189	
																				273 261 250 240 231 222 214 207 200 194 188 182 176 171 167 162 158	
																				218 209 200 192 185 178 171 166 160 155 150 145 141 137 133 130 126	
																				164 157 150 144 138 133 129 124 120 116 113 109 106 103 100 97 95	
																				109 104 100 96 92 89 86 83 80 77 75 73 71 69 67 65 63	
																				55 52 50 48 46 44 43 41 40 39 38 36 35 34 33 32 32	
																				0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	
																				54,55 52,17 46,15 44,44 42,86 41,38 38,71 37,5 36,36 35,29 34,29 33,33 32,43 31,58	

RACINES DE 2 : de 39^{ème} à 55^{ème}

approximation de SILBERMANN ➡ 55

1/9 de tons ➡ 54

cycle de MERCATOR (approximation du LIMITE 3) ➡ 53 1178

52 1178 1156

51 1177 1156 1135

cycle de HENFLING (approximation du Mésotonique du 2/7 de comma syntonique) ➡ 50 1177 1155 1133 1113

49 1176 1154 1132 1111 1091

1/8 de tons ➡ 48 1176 1153 1131 1109 1089 1069

cycle de SAUVEUR 47 1176 1152 1129 1108 1087 1067 1047

(approximation du Mésotonique du 1/5 de comma syntonique) 46 1175 1151 1128 1106 1085 1064 1044 1025

1/7 de tons ➡ 45 1174 1150 1127 1104 1082 1062 1042 1022 1004

Paul von JANKO ➡ 44 1174 1149 1125 1102 1080 1059 1038 1019 1000 982

43 1173 1148 1123 1100 1078 1056 1035 1015 996 978 960

42 1173 1147 1122 1098 1075 1053 1032 1012 992 974 956 938

41 1172 1145 1120 1096 1072 1050 1029 1008 988 969 951 933 916

40 1171 1144 1118 1093 1070 1047 1025 1004 984 965 946 928 911 895

39 1171 1143 1116 1091 1067 1043 1021 1000 980 960 941 923 906 889 873

1170 1141 1114 1088 1064 1040 1017 996 975 955 936 918 900 883 867 851

1169 1140 1112 1086 1060 1036 1013 991 970 950 931 912 894 877 860 844 829

1138 1110 1083 1057 1033 1009 987 965 945 925 906 888 871 854 838 822 807

1108 1080 1054 1029 1005 982 960 939 919 900 882 864 847 831 815 800 785

1077 1050 1024 1000 977 955 933 913 894 875 857 840 824 808 792 778 764

1045 1020 995 971 949 927 907 887 868 850 833 816 800 785 770 756 742

1015 990 966 943 921 900 880 861 843 825 808 792 776 762 747 733 720

985 960 937 914 893 873 853 835 817 800 784 768 753 738 725 711 698

954 930 907 886 865 845 827 809 791 775 759 744 729 715 702 689 676

923 900 878 857 837 818 800 783 766 750 735 720 706 692 679 667 655

892 870 849 829 809 791 773 757 740 725 710 696 682 669 657 644 633

862 840 820 800 781 764 747 730 715 700 686 672 659 646 634 622 611

831 810 790 771 753 736 720 704 689 675 661 648 635 623 611 600 589

800 780 761 743 726 709 693 678 664 650 637 624 612 600 589 578 567

769 750 732 714 698 682 667 652 638 625 612 600 588 577 566 556 545

738 720 702 686 670 655 640 626 613 600 588 576 565 554 543 533 524

708 690 673 657 642 627 613 600 587 575 563 552 541 531 521 511 502

677 660 644 629 614 600 587 574 562 550 539 528 518 508 498 489 480

646 630 615 600 586 573 560 548 536 525 514 504 494 485 475 467 458

615 600 585 571 558 545 533 522 511 500 490 480 471 462 453 444 436

585 570 556 543 530 518 507 496 485 475 465 456 447 438 430 422 415

554 540 527 514 502 491 480 470 460 450 441 432 424 415 408 400 393

523 510 498 486 474 464 453 443 434 425 416 408 400 392 385 378 371

492 480 468 457 447 436 427 417 409 400 392 384 376 369 362 356 349

462 450 439 429 419 409 400 391 383 375 367 360 353 346 340 333 327

431 420 410 400 391 382 373 365 357 350 343 336 329 323 317 311 305

400 390 380 371 363 355 347 339 332 325 318 312 306 300 294 289 284

369 360 351 343 335 327 320 313 306 300 294 288 282 277 272 267 262

338 330 322 314 307 300 293 287 281 275 269 264 259 254 249 244 240

308 300 293 286 279 273 267 261 255 250 245 240 235 231 226 222 218

277 270 263 257 251 245 240 235 230 225 220 216 212 208 204 200 196

246 240 234 229 223 218 213 209 204 200 196 192 188 185 181 178 175

215 210 205 200 195 191 187 183 179 175 171 168 165 162 158 156 153

185 180 176 171 167 164 160 157 153 150 147 144 141 138 136 133 131

154 150 146 143 140 136 133 130 128 125 122 120 118 115 113 111 109

123 120 117 114 112 109 107 104 102 100 98 96 94 92 91 89 87

92 90 88 86 84 82 80 78 77 75 73 72 71 69 68 67 65

62 60 59 57 56 55 53 52 51 50 49 48 47 46 45 44 44

31 30 29 29 28 27 27 26 26 25 24 24 24 23 23 22 22

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

30,77 29,27 28,57 27,91 27,27 26,67 26,09 25,53 24,49 23,53 23,08 22,64 22,22 21,22

Le CYCLE HARMONIQUE de Christiaan HUYGENS (1691)

$31\sqrt{2}$ (approximation du mésotonique du $\frac{1}{4}$ de comma syntonique)

Chaque intervalle < 1/5 de ton.

Les syllabes sont les notes du clavier d'Ervin WILSON (1961)

Les couleurs sont celles du code de la guitare de Siemen TERPSTRA (1984)

$31\sqrt{2}$

MÉSOTONIQUE DU $\frac{1}{4}$ DE COMMA SYNTONIQUE

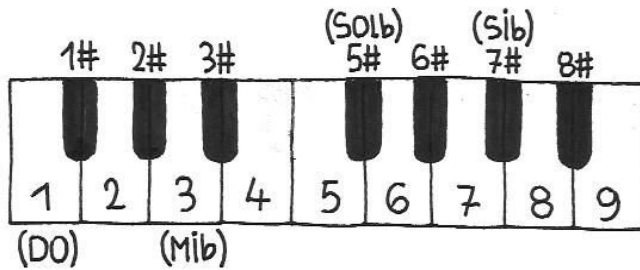
PI	31	1161.3				125/64 → 1158.9 cents
PA	30	1122.6	}	7M	{	48/25 – 5.4 cents ou 256/135 + 16.1 cents → 1123.9 cents
PU	29	1083.9				15/8 – 5.4 cents ou 50/27 + 16.1 cents → 1082.9 cents
TE	28	1045.2				1152/625 – 10.8 cents → 1047.9 cents
TO	27	1006.5		7m		9/5 – 10.8 cents → 1006.8 cents ou 16/9 + 10.8 cents → 1006.9 cents
JI	26	967.7		7/4 = 968.8		225/128 – 10.8 cents → 965.7 cents
JA	25	929.0	}	6M	{	128/75 + 5.4 cents → 930.8 cents
JU	24	890.3				5/3 + 5.4 cents ou 27/16 – 16.1 cents → 889.8cents
GE	23	851.6				625/384 + 5.4 cents → 848.7 cents
GO	22	812.9	}	6m	{	8/5 → 813.7 cents
DI	21	774.2				25/16 → 772.6 cents
DA	20	735.5				1024/675 + 16.1 cents → 737.6 cents
DU	19	696.8		5		3/2 – 5.4 cents → 696.6 cents ou 40/27 + 16.1 cents → 696.5 cents
BE	18	658.1				625/432 + 16.1 cents → 655.5 cents
BO	17	619.4	}	5-	{	36/25 – 10.8 cents → 620.5 cents ou 64/45 + 10.8 cents → 620.6 cents
FI	16	580.6				45/32 – 10.8 cents → 579.4 cents ou 25/18 + 10.8 cents → 579.5 cents
FA	15	541.9				864/625 – 16.1 cents → 544.5 cents
FU	14	503.2		4		4/3 + 5.4 cents → 503.4 cents ou 27/20 – 16.1 cents → 503.5 cents
NI	13	464.5				675/512 – 16.1 cents → 462.4 cents
NA	12	425.8	}	3M	{	32/25 → 427.4 cents
NU	11	387.1				5/4 → 386.3 cents
SE	10	348.4				768/625 – 5.4 cents → 351.3 cents
SO	9	309.7	}	3m	{	6/5 – 5.4 cents ou 32/27 + 16.1 cents → 310.2 cents
KI	8	271.0				75/64 – 5.4 cents → 269.2 cents
KA	7	232.3				256/225 + 10.8 cents → 234.3 cents
KU	6	193.5		2M		9/8 – 10.8 cents → 193.1 cents ou 10/9 + 10.8 cents → 193.2 cents
RE	5	154.8				625/576 + 10.8 cents → 152.1 cents
RO	4	116.1	}	2m	{	27/25 – 16.1 cents ou 16/15 + 5.4 cents → 117.1 cents
LI	3	77.4				135/128 – 16.1 cents ou 25/24 + 5.4 cents → 76.1 cents
LA	2	38.7				128/125 → 41.1 cents (DIÉSIS de FOKKER)
LU	1	0				1/1 → 0 cent

LE CYCLE DE MERCATOR (53 $\sqrt{2}$)

	53 $\sqrt{2}$		LIMITE 3 (+ / - 1.7 cent)		LIMITE 5 (- 4.5 / + 4.4)
53	1177.4	Dbb	1 048 576 / 531 441 + 0.9	B# ⁻	2 025 / 1024 - 3.0
52	1154.7	Ebbbb	549 755 813 888 / 282 429 536 481 + 1.6	B# ⁻⁻⁻	125 / 64 - 4.2
51	1132.1	A###	129 140 163 / 67 108 864 - 1.1	Cb ⁺⁺	48 / 25 + 2.8
50	1109.4	B	243 / 128 - 0.4	Cb ⁺	256 / 135 + 1.6
49	1086.8	Cb	4 096 / 2 187 + 0.5	B ⁻	15 / 8 - 1.5
48	1064.2	Dbbb	2 147 483 648 / 1 162 261 467 + 1.3	B ⁻⁻⁻	50 / 27 - 2.6
47	1041.5	G###	31 381 059 609 / 17 179 869 184 - 1.5	Cbb ⁺⁺⁺	2 048 / 1125 + 4.4
46	1018.9	A#	59 049 / 32 768 - 0.7	Bb ⁺	9 / 5 + 1.3
45	996.2	Bb	16 / 9 + 0.1 ▶	▶	idem
44	973.6	Cbb	8 388 608 / 4 782 968 + 1.0	A# ⁻	225 / 128 - 2.9
43	950.9	Dbbbb	4 398 046 511 104 / 2 541 865 828 339 + 1.7	A# ⁻⁻⁻	125 / 72 - 4.1
42	928.3	G##	14 348 907 / 8 388 608 - 1.0	Bbb ⁺⁺	128 / 75 + 2.9
41	905.7	A	27 / 16 - 0.2 ▶	▶	idem
40	883.0	Bbb	32 768 / 19 683 + 0.6	A ⁻	5 / 3 - 1.4
39	860.4	Cbbb	17 179 869 184 / 10 460 353 203 + 1.5	G## ⁻⁻⁻	3 375 / 2 048 - 4.4
38	837.7	F###	3 486 784 401 / 2 147 483 648 - 1.4	Ab ⁺⁺	81 / 50 + 2.5
37	815.1	G#	6 561 / 4 096 - 0.5	Ab ⁺	8/5 + 1.4
36	792.5	Ab	128 / 81 + 0.3	G# ⁻	405 / 256 - 1.6
35	769.8	Bbbb	67 108 864 / 43 046 721 + 1.1	G# ⁻⁻⁻	25 / 16 - 2.8
34	747.2	E###	847 288 609 443 / 549 755 813 888 - 1.7	Abb ⁺⁺⁺	192 / 125 + 4.2
33	724.5	F##	1 159 323 / 1 048 576 - 0.9	Abb ⁺⁺	1 024 / 675 + 3.0
32	701.9	G	3 / 2 - 0.1 ▶	▶	idem
31	679.2	Abb	262 144 / 177 147 + 0.7	G ⁻	40 / 27 - 1.2
30	656.6	Bbbbb	137 438 953 472 / 94 143 178 827 + 1.6	F## ⁻⁻⁻	375 / 256 - 4.3
29	634.0	E##	387 420 489 / 268 435 456 - 1.2	Gb ⁺⁺	36 / 25 + 2.7
28	611.3	F#	729 / 512 - 0.4	Gb ⁺	64 / 45 + 1.5
27	588.7	Gb	1 024 / 729 + 0.4	F# ⁻	45 / 32 - 1.5
26	566.0	Abbb	536 870 912 / 387 420 489 + 1.2	F# ⁻⁻⁻	25 / 18 - 2.7
25	543.4	D###	94 143 178 827 / 68 719 476 736 - 1.6	Gbb ⁺⁺⁺	512 / 375 + 4.3
24	520.8	E#	177 147 / 131 072 - 0.7	F ⁺	27 / 20 + 1.2
23	498.1	F	4 / 3 + 0.1 ▶	▶	idem
22	475.5	Gbb	2 097 152 / 1 594 323 + 0.9	E# ⁻	675 / 512 - 3.0
21	452.8	Abbbb	1 099 511 627 776 / 847 288 609 443 + 1.7	E# ⁻⁻⁻	125 / 96 - 4.2
20	430.2	D##	43 046 721 / 33 554 432 - 1.1	Fb ⁺⁺	32 / 25 + 2.8
19	407.5	E	81 / 64 - 0.3 ▶	▶	idem
18	384.9	Fb	8 192 / 6 561 + 0.5	E ⁻	5 / 4 - 1.4
17	362.3	Gbbb	4 294 967 296 / 3 486 784 401 + 1.4	D## ⁻⁻⁻	10 125 / 8 192 - 4.5
16	339.6	C###	10 460 353 203 / 8 589 934 592 - 1.5	Fbb ⁺⁺⁺	4 096 / 3 375 + 4.4
15	317.0	D#	19 683 / 16 384 - 0.6	Eb ⁺	6 / 5 + 1.4
14	294.3	Eb	32 / 27 + 0.2 ▶	▶	idem
13	271.7	Fbb	16 777 216 / 14 384 907 + 0.1	D# ⁻	75 / 64 - 2.9
12	249.1	B###	2 541 865 828 339 / 2 199 023 255 552 - 1.7	D# ⁻⁻⁻ (Ebb ⁺⁺⁺)	125 / 108 - 4.0 (144 / 125 + 4.1)
11	226.4	C##	4 782 969 / 4 194 304 - 1.0	Ebb ⁺⁺	256 / 225 + 2.9
10	203.8	D	9 / 8 - 0.1 ▶	▶	idem
9	181.1	Ebb	65 536 / 59 049 + 0.7	D ⁻	10 / 9 - 1.3
8	158.5	Fbbb	34 359 738 368 / 31 381 059 609 + 1.5	C## ⁻⁻⁻	1 125 / 1 024 - 4.4
7	135.8	B##	1 162 261 467 / 1 073 741 824 - 1.3	Db ⁺⁺	27 / 25 + 2.6
6	113.2	C#	2 187 / 2 048 - 0.5	Db ⁺	16 / 15 + 1.5
5	90.6	Db	256 / 243 + 0.4	C# ⁻	135 / 128 - 1.6
4	67.9	Ebbb	134 217 728 / 129 140 163 + 1.1	C# ⁻⁻⁻	25 / 24 - 2.8
3	45.3	A###	282 429 536 481 / 274 877 906 944 - 1.6	Dbb ⁺⁺⁺	128 / 125 + 4.2
2	22.6	B#	531 441 / 524 288 - 0.9	C ⁺	81 / 80 + 1.1
1	0	C	1/1 ▶	▶	idem

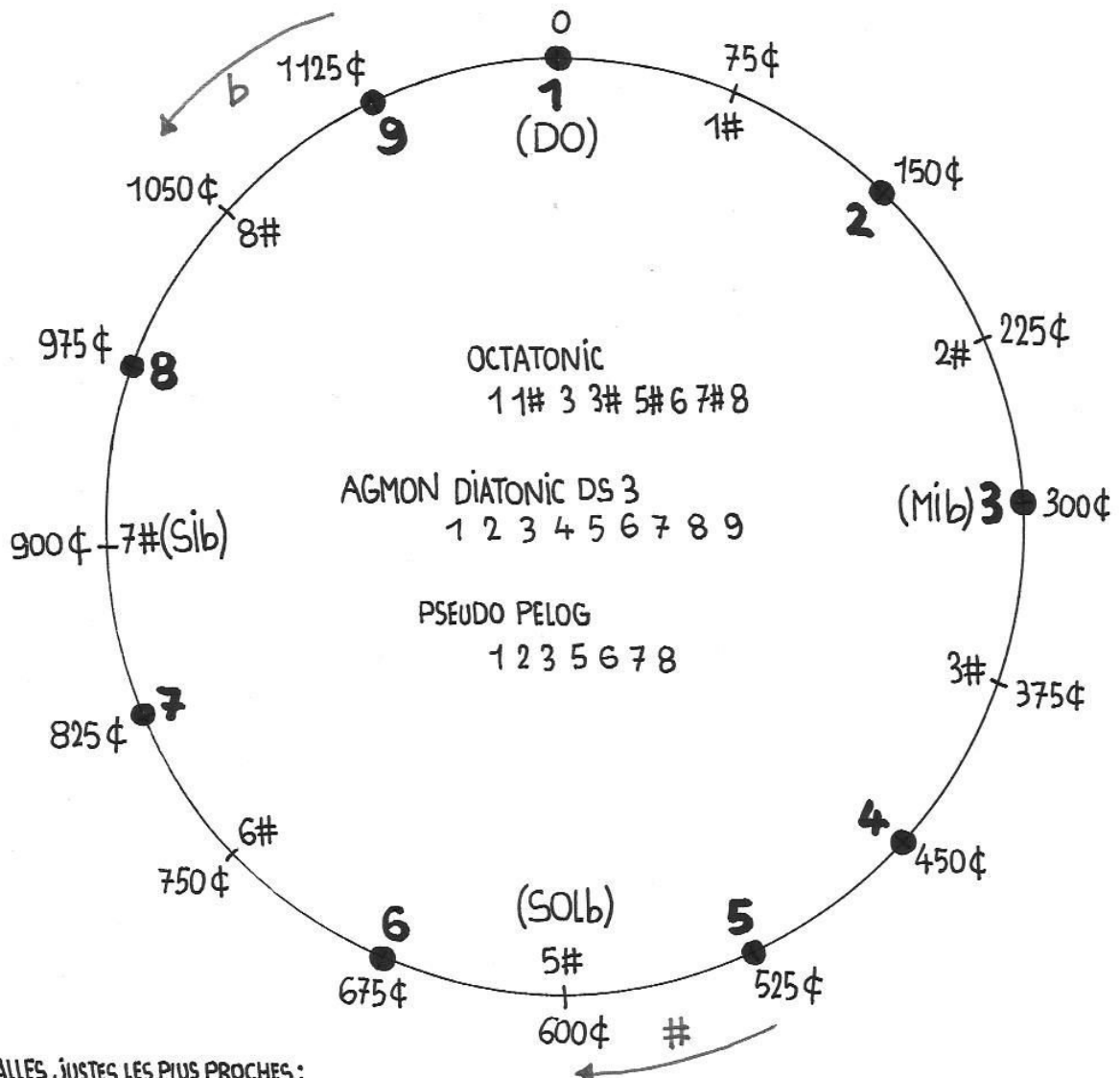
ARMODUE: $16\sqrt{2}$

PIERPAOLO BERETTA & LUCA ATTANASIO : <http://www.armodue.com>



La DÉCIME (1200 cents) est divisée en 16 EKAS (1eka = 75 cents)
 Système basé sur le cycle des 7^{èmes}: l' "octave" (13 ekas) = $7/4 + 6.17\text{¢}$

→ 5 1 6 2 7 3 8 4 9 ← b



INTERVALLES JUSTES LES PLUS PROCHES:

$1/1$, $2673/2560$, $12/11$, $729/640$, $44/37$, $128/103$, $35/27$, $256/189$, $99/70$, $140/99$, $189/128$, $54/35$, $103/64$, $37/22$, $1280/729$, $11/6$, $5120/2673$, $2/1$.

72 $\sqrt{2}$ (12^{ème} DE TON)

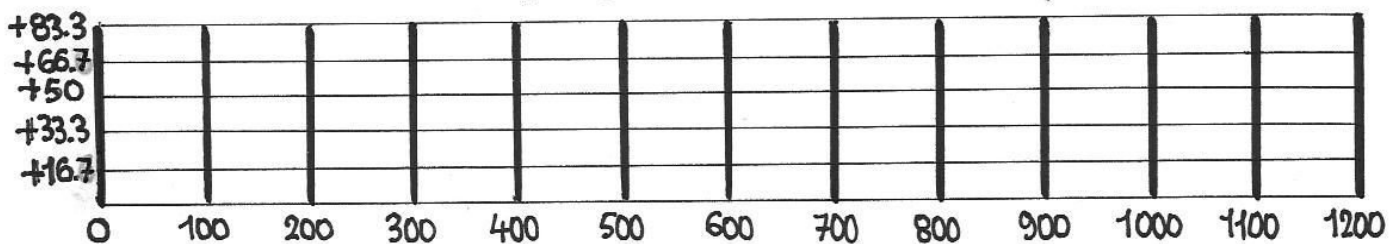
1 MORION = 16.6666666... CENTS

		JULIÁN CARILLO	IVAN WYSCHNEGRADSKY	ALOIS HÁBA
C	0.0¢	0	q ↑	
	16.7¢	1	q̣ ḅ	+
	33.3¢	2	q̣ ḅ	+
	50.0¢	3	≠ ḅ	≠
	66.7¢	4	≠ ḅ	≠
	83.3¢	5	≠ ḅ	≠
C#	100.0¢	6	# ḅ	#
	116.7¢	7	#̣ ḅ	#
	133.3¢	8	#̣ ḅ	#
	150.0¢	9	#̣ ḅ	#
	166.7¢	10	#̣ ḅ	#
	183.3¢	11	#̣ ḅ	#
D	200.0¢	12	↓ q̣	↓

GUIARE EN 12^{ème} DE TON

SEUL L'ACCORD CHANGE (MONTER 6 CORDES IDENTIQUES)

Stendue: 1 octave (72 moria)



3 SYSTEMES SANS OCTAVES de Wendy CARLOS

En rouge: la suite des 5^{es} non ramenées dans l'octave

α (702 ÷ 9) Intervalles de 78 ¢	β (701,8 ÷ 11) Intervalles de 63,8 ¢	γ (702 ÷ 20) Intervalles de 31,1 ¢
3822 A# 7722	3126,2 G# 6316,2	1719,9 3474,9
3744 7644	3062,4 6252,4	1684,8 3439,8
3666 7566	2998,6 6188,6	1649,7 3404,7
3588 7488	2934,8 6124,8	1614,6 3369,6
E 3510 7410	2871 6061	1579,5 3334,5
3432 7332	A 2807,2 5997,2	1544,4 3299,4
3354 7254	2743,4 5933,4	1509,3 3264,3
3276 7176	2679,6 5869,6	1474,2 3229,2
3198 7098	2615,8 5805,8	1439,1 3194,1
3120 D# 7020	2552 5742	G 1404 3159
3042 6942	2488,2 5678,2	1368,9 3123,9
2964 6864	2424,4 C# 5614,4	1333,8 3088,8
2886 6786	2360,6 5550,6	1298,7 3053,7
A 2808 6708	2296,8 5486,8	1263,6 3018,6
2730 6630	2233 5423	1228,5 2983,5
2652 6552	2169,2 5359,2	1193,4 2948,4
2574 6474	D 2105,4 5295,4	1158,3 2913,3
2496 6396	2041,6 5231,6	1123,2 2878,2
2418 G# 6318	1977,8 5167,8	1088,1 2843,1
2340 6240	1914 5104	1053 A 2808
2262 6162	1850,2 5040,2	1017,9 2772,9
2184 6084	1786,4 4976,4	982,8 2737,8
D 2106 6006	1722,6 F# 4912,6	947,7 2702,7
2028 5928	1658,8 4848,8	912,6 2667,6
1950 5850	1595 4785	877,5 2632,5
1872 5772	1531,2 4721,2	842,4 2597,4
1794 5694	1467,4 4657,4	807,3 2562,3
1716 C# 5616	G 1403,6 4593,6	772,2 2527,2
1638 5538	1339,8 4529,8	737,1 2492,1
1560 5460	1276 4466	C 702 2457
1482 5382	1212,2 4402,2	666,9 2421,9
G 1404 5304	1148,4 4338,4	631,8 2386,8
1326 5226	1084,6 4274,6	596,7 2351,7
1248 5148	1020,8 B 4210,8	561,6 2316,6
1170 5070	957 4147	526,5 2281,5
1092 4992	893,2 4083,2	491,4 2246,4
1014 F # 4914	829,4 4019,4	456,3 2211,3
936 4836	765,6 3955,6	421,2 2176,2
858 4758	C 701,8 3891,8	386,1 2141,1
780 4680	638 3828	351 D 2106
C 702 4602	574,2 3764,2	315,9 2070,9
624 4524	510,4 3700,4	280,8 2035,8
546 4446	446,6 3636,6	245,7 2000,7
468 4368	382,8 3572,8	210,6 1965,6
390 4290	319 E 3509	175,5 1930,5
312 B 4212	255,2 3445,2	140,4 1895,4
234 4134	191,4 3381,4	105,3 1860,3
156 4056	127,6 3317,6	70,2 1825,2
78 3978	63,8 3253,8	35,1 1790,1
F 0 3900	F 0 3190	F 0 1755