

# Du bien sonner d'une cloche

**Eric Brottier**

Ingénieur des Arts et Métiers  
Technicien-Conseil pour le Ministère de la Culture

Faire sonner une cloche à la volée : voilà qui aurait l'air plutôt simple : prenons une cloche, suspendons la à un joug, accrochons un battant à l'intérieur. Mettons le joug sur des paliers dans un beffroi et ensuite sonnons, soit manuellement avec un bras de sonnerie et une corde ou plus simplement laissons un moteur électrique s'en charger.

Apparemment il n'y a rien de compliqué dans tous cela et un technicien électro-mécanicien devrait donc être en mesure de résoudre assez simplement ce genre de problèmes.

Seulement cette simplicité n'est qu'apparente : la réalité est plus complexe. Il ne suffit pas que la cloche se balance et se mette à sonner pour que le résultat soit satisfaisant. L'installation d'une cloche relève d'un véritable métier, au point que bien des techniciens gravitant dans cette spécialité n'y sont pas toujours spécifiquement formés. C'est pourquoi sur des installations de cloches en état de fonctionnement, il est fréquent d'observer de nombreux défauts ou désordres sans que les professionnels qui réalisent ou assurent la maintenance des installations soient en mesure de les diagnostiquer et les analyser.

Il n'est pas inutile de donner un éclairage technique et théorique pour apprécier quelques subtilités qu'il faut prendre en compte pour qu'une cloche installée en volée puisse être en mesure de sonner dans des conditions satisfaisantes.

## *Sonnerie liturgique ou message musical des cloches*

Préalablement, il faut rappeler que la cloche est un instrument de musique. Même si l'on peut estimer que la fonction sonore d'une sonnerie répond avant tout à une fonction de communication, on ne peut nier que cet art particulier de communiquer n'utilise pas un support musical. La fonction musicale d'une sonnerie de cloches à la volée est bien réelle ; elle est certes distincte de celle des carillons qui, avec leurs cloches accordées, n'ont pas pour autant le monopole de l'expression musicale en art campanaire. Les sonneries de cloches n'ont pas objet de faire de la musique pour elle-même mais elles expriment de façon harmonieuse et musicale la transmission d'un message, parfois civil, mais le plus généralement liturgique.

## *Harmonie et rythme*

Lorsqu'une cloche sonne à la volée le contenu sonore peut être analysé sous deux angles complémentaires:

- d'abord en termes de hauteur sonore (note) et de timbre (couleur sonore). Ces éléments dépendent directement de la distribution des partiels constitutifs du son de la cloche. Si le battant frappe la cloche à l'endroit requis, note et timbre sont déterminés par la cloche elle-même.

- Ensuite en terme de rythme : une cloche en volée détermine une fréquence de balancement. Pour une volée de plusieurs cloches, il y a superposition de rythmes élémentaires introduisant une complexité rythmique, caractérisée par des glissements de rythmes, des accentuations. Tout cela détermine une mélodie évolutive par permutation des tintements entre eux. Des thèmes surgissent puis se renversent ou s'inversent. Toute cette rythmique plus ou moins aléatoire est déterminée et réglée par l'installation mécanique des cloches, d'où son importance. Voilà pourquoi la façon d'installer et de régler une cloche aura un rôle fondamental sur le contenu esthétique : le mode d'installation et sa qualité de mise en oeuvre comptent autant dans le résultat esthétique général que ce qui est déterminé par le son des cloches elles-mêmes.

S'il est important de prendre conscience que mode d'installation et qualité de réglage importent sur un plan esthétique, il faut noter que ces éléments ont des répercussions techniques directes sur la préservation des cloches, du beffroi et enfin de l'édifice. Un installateur compétent doit donc avoir comme préoccupation le souci concilier l'aspect artistique avec l'aspect technique.

### ***De la sonnerie rythmique au continuum sonore***

Selon les régions, une volée de cloches pourra revêtir des caractères très différents qui sont l'expression des traditions et goûts locaux. Ainsi en Espagne, l'écoute des sonneries traditionnelles met en évidence qu'on privilégiera la perception rythmique au détriment de l'harmonie. A cette fin, les moyens techniques suivent : notamment en sonnante la cloche en volée tournante (la cloche fera des tours complets), souvent placée dans les ouvertures du clocher pour diffuser en champ libre. Pour accroître la perception des coups de battants, il convient que la cloche résonne le moins possible : on ne s'étonnera pas alors que le battant ait tendance à étouffer la cloche dont le profil favorisera une structure sonore à faible durée de résonance. Il en résulte des effets de batterie ou de crécelle. A l'inverse, dans les pays anglo-saxons, les cloches présentent des profils favorisant une perfection harmonique et sont localisées à l'intérieur des clochers qui sont plutôt fermés. On recherchera la perception d'un *continuum* sonore ou encore un *Plenum* dégageant une harmonie globale et atténuant les perceptions des coups de battants : en cela on privilégie l'harmonie au détriment du rythme. Entre ces deux extrêmes, on trouvera bien des formes intermédiaires : c'est pourquoi il faut avoir conscience que la variété des installations anciennes doit être préservée avec leurs spécificités, de même que les sonneries modernes ne doivent pas être toutes construites sur le même schéma pour ne pas tomber dans le piège d'une uniformisation sonore. En cela, les installateurs ont encore beaucoup à faire pour prendre la mesure de cette variété des styles tandis que les matériels électriques qui remplacent aujourd'hui les sonneurs d'antan, devraient présenter une gamme de variée et adaptable de produits permettant de préserver cette diversité esthétique.

La présence de cloches d'époques diverses ne contribue pas au même type de cohérence sonore qu'une sonnerie de cloches créée d'un seul jet. C'est aux utilisateurs que revient de composer des protocoles de sonneries devant tenir compte des caractéristiques des cloches constitutives lorsqu'elles s'accordent plus ou moins, exploitant ce qu'elles peuvent avoir en commun ou en opposition, pour proposer des combinaisons de sonneries de cloches servant au mieux les messages déterminés par la liturgie.

### ***Aspects techniques de l'installation à la recherche d'une qualité de sonnerie.***

Dans le cas d'une sonnerie en lancé franc, la cloche est suspendue à son joug avec un moment d'inertie maximal, par oppositions aux cloches montées en mode équilibré partiel ou intégral, avec des jougs massifs ou cintrés.

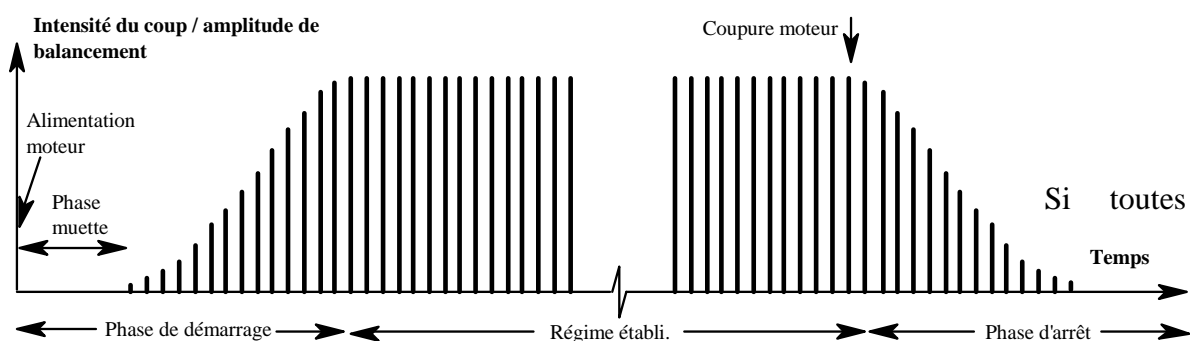
Ce mode de sonnerie convient bien aux cloches en profil lourd à forte capacité de résonance. Il permet un contact bref du battant sur la cloche. Dans ce mode d'installation, la cloche ne tourne jamais sur elle-même, elle balance toujours. **L'amplitude** ou angle maximal de balancement est un paramètre très important : plus elle est forte, plus la cloche « monte haut » et plus les efforts développés dans le mouvement par l'ensemble mobile cloche+joug sont importants. Du choix de l'amplitude résulte également la donnée de la cadence de balancement : prédéterminée par la dimension et la masse du joug, la cadence dépend aussi de l'amplitude de balancement. Plus la cloche monte haut, plus son rythme de balancement ralentira.

Il est de la plus haute importance qu'une cloche fonctionne sans excès d'amplitude. Trop d'amplitude cause un accroissement des poussées qui se transmettent au beffroi et à l'édifice. Sur les monuments anciens, il est primordial de limiter les efforts à ce que le fonctionnement rend strictement nécessaire. Or beaucoup d'éléments tendent à ne pas respecter cette règle.

La symétrie du montage de la cloche revêt à cet égard une importance fondamentale. La cloche installée sur sa monture associe différents éléments qui doivent présenter un même plan moyen : battant, anneau de soutien du battant, cloche, joug, ligne des axes des paliers. Tous ces éléments doivent coïncider, la qualité de ce montage doit être parfaite. Force est de reconnaître que ce n'est que rarement le cas.

Si cette condition n'est pas remplie, le fonctionnement en accusera les conséquences, notamment au plan auditif. Pour appréhender ce phénomène il faut réfléchir à la physiologie d'un cycle général de sonnerie, incluant les phases transitoires de démarrage et d'arrêt de la cloche.

En fonctionnement normal, la cloche en mode "lancé" est frappée deux fois au cours d'une période de balancement, soit sensiblement au moment où l'inclinaison est la plus forte, c'est-à-dire au point d'inversion de la vitesse de rotation de la cloche. On peut donc représenter schématiquement de la façon suivante l'évolution des coups de battant au cours de la séquence de volée :

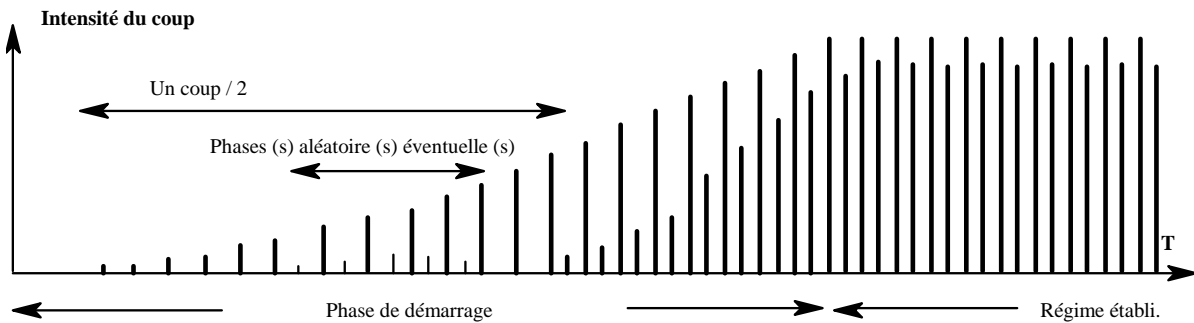


les conditions de montage de l'ensemble cloche-joug-battant sont parfaitement symétriques, la frappe doit être régulière, c'est-à-dire à intervalles de temps réguliers et une intensité de frappe égale pour chaque coup en régime établi. Si la symétrie des conditions de montage n'est pas respectée, le fonctionnement de la cloche va se trouver perturbé et présenter une irrégularité du rythme : on dit que la cloche « boîte ». Les perturbations et irrégularités se caractérisent par les symptômes suivants :

- en phase de mise en branle de la cloche : la frappe n'a lieu qu'un coup sur 2 : soit uniquement à chaque phase aller ou à chaque phase retour ; parfois des séquences aléatoires peuvent survenir sur une fraction du cycle mise en route (1coup/2, puis 2/2, puis à nouveau 1/2 avant stabilisation) ;

- en mouvement établi, la frappe sera asymétrique en intensité : le coup qui manquait en phase de démarrage sera faible, l'autre coup sera fort.

L'illustration de ce type de défaut peut suivre la représentation schématique suivante :

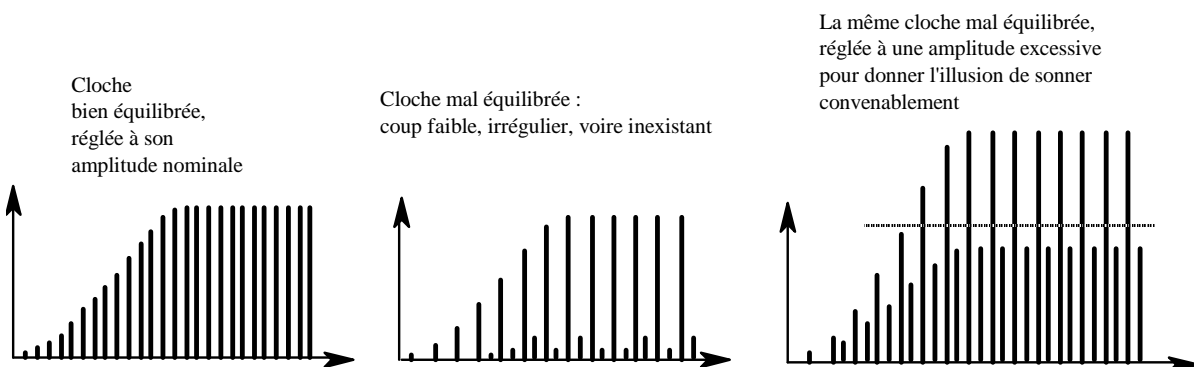


Remarque :

Dans ce type de fonctionnement, l'apparition du second coup par cycle est non seulement retardé, mais le caractère asymétrique de la frappe subsiste pendant le régime établi : la cloche va donc être sollicitée mécaniquement d'une façon plus forte sur un bord de frappe que sur l'autre. De nombreuses cloches anciennes présentent souvent une usure asymétrique qui met en évidence que la frappe a été plus forte sur la partie de l'anneau de frappe qui a subi la plus forte perte d'épaisseur.

A défaut de réaliser un montage géométrique satisfaisant, il existe un expédient qui permet de masquer le phénomène de boitement : il consiste à faire monter la cloche "trop haut", en réglant l'amplitude de balancement à une valeur excessive, supérieure à la valeur optimale. La solution est simple à mettre en œuvre, car il s'agit d'un simple réglage du moteur. Les conséquences en sont lourdes en termes d'efforts et de stabilité.

Par exemple, une cloche qui devrait sonner correctement avec une amplitude de 60 degrés mais qui ne peut donner satisfaction sur le plan auditif compte tenu de son défaut d'équilibrage pourra accuser en fonctionnement une amplitude nettement supérieure, pouvant atteindre 80 ou 90°. Les trois figures qui suivent illustrent le mode de démarrage pour la même cloche selon la qualité de son installation :



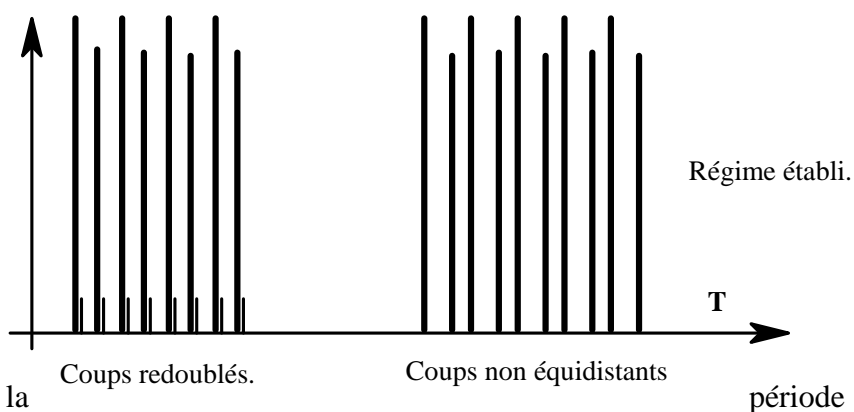
Dans ces conditions, le fonctionnement présente les caractéristiques suivantes :

- la frappe reste toujours asymétrique, l'intensité de frappe augmente sensiblement, mais compte tenu du fait que l'oreille "nivelle" les fortes intensités (caractéristiques logarithmiques de l'oreille) l'effet d'asymétrie est auditivement moins perceptible ;
- la cloche démarre plus vite, dans une certaine mesure, la phase de démarrage où le rythme est aléatoire devient plus courte, contribuant à réduire la perception du défaut de boitement ;
- parallèlement, le son devient dur et métallique ;
- la cloche subit des contraintes plus importantes : elle s'usera plus vite, courra parfois des risques de fêlure accrues ;
- les poussées développées par la cloche sur ses paliers augmentent car la valeur moyenne des poussées est directement liée à l'amplitude de balancement nominale choisie au réglage ;

Les défauts audiblement détectables peuvent également être les suivants :

- parfois les coups de battants ne sont pas équidistants 2 à 2 : l'intervalle de temps entre deux coups "aller-retour" est différent de l'intervalle entre deux coups "retour-aller" ;
- au cas où l'amplitude de balancement devient excessive, le coup de battant peut redoubler (rebondissement du battant sur l'anneau de frappe, la cloche étant en position haute), ce phénomène se produira notamment sur le coup "fort" ; cette tendance à redoubler a pour effet de prolonger la durée de contact du battant avec la cloche : ce phénomène tendra à étouffer le son de la cloche presque simultanément à la frappe, ce peut-être dangereux pour la cloche (risque de fêlure).

L'illustration de ces deux phénomènes, qui peuvent apparaître de façon conjointe ou indépendante, s'illustre comme suit :



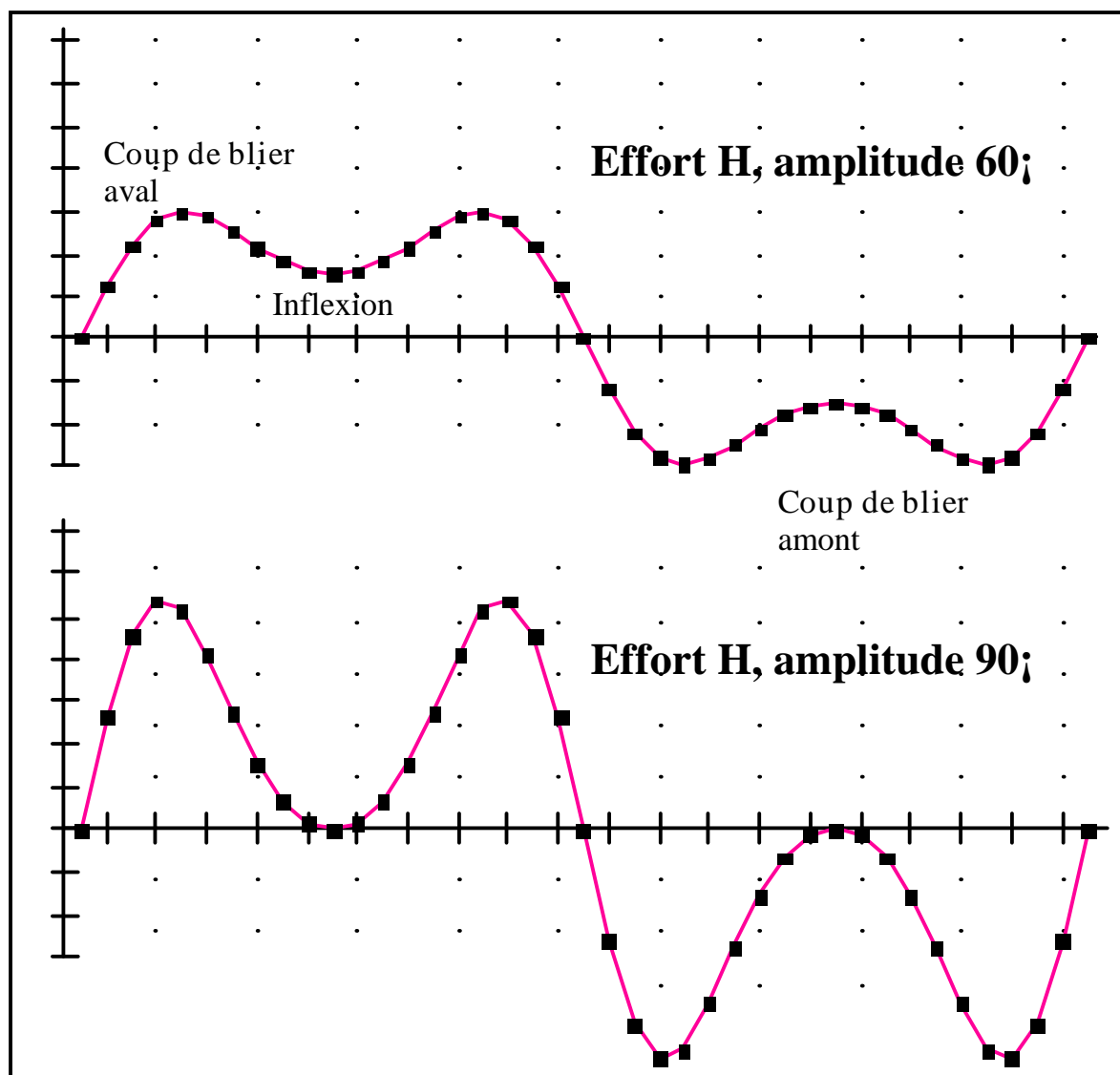
Enfin, la période de balancement augmente avec l'amplitude.

On mesure ainsi la portée des inconvénients aux plans mécanique et acoustique d'un réglage effectué dans ces conditions.

Notons que dans la pratique, il reste néanmoins impossible d'éviter un boitement résiduel, le positionnement géométrique idéal des éléments : cloche, battant, monture, ne pouvant être idéalement parfait.

Cependant, si en phase de démarrage, la frappe est légèrement asymétrique, les coups "manqués" ne doivent pas être excessifs (de l'ordre de 5 ou 6 coups maxi manqués sur une cloche de quelques centaines de kg).

Incidence sur les efforts développés et leur potentiel d'excitation dynamique :

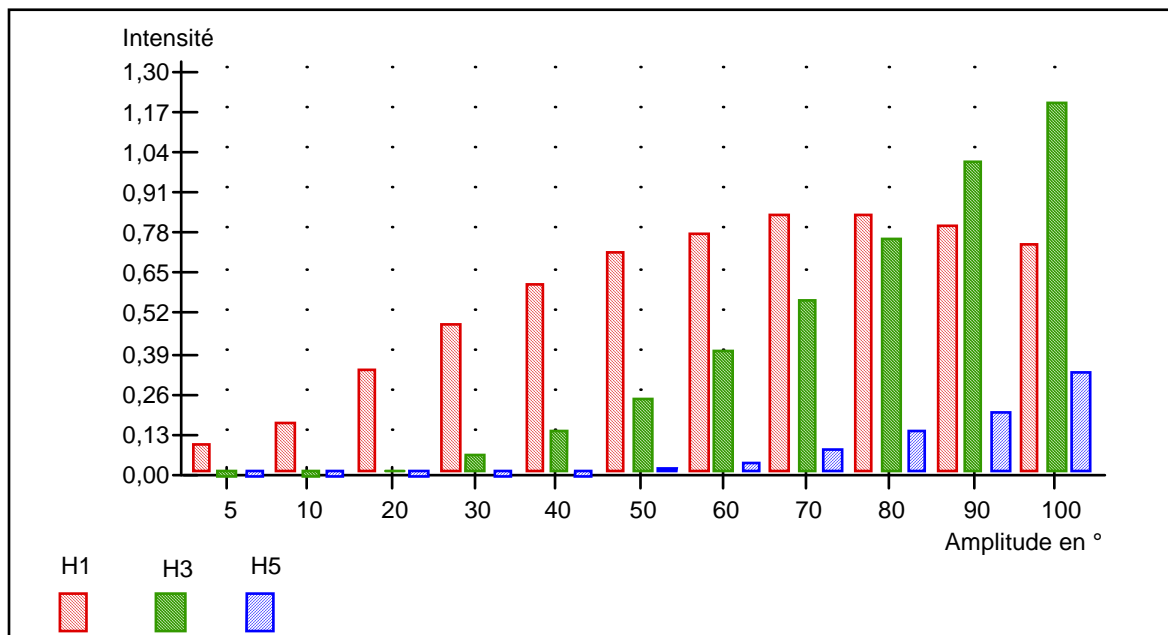


La structure de l'effort de volée est assez complexe. Les poussées développées par une cloche peuvent se projeter dans les directions verticale et horizontale. Pour la stabilité du beffroi et du clocher, l'effort horizontal H requiert une attention toute particulière.

La structure de l'effort au cours du cycle de volée est illustrée selon le schéma ci-contre. Pour une amplitude de 60 ° la poussée horizontale vaut 0,65 fois le poids de l'ensemble cloche+joug. A 90°, cet effort vaut 1,16 fois le poids, soit 78% d'augmentation de l'effort pour 50% d'amplitude en plus.

Non seulement cet effort s'accroît en fonction de l'amplitude, mais sa forme évolue en raison de l'évolution de sa distribution en fonction de la fréquence de balancement et de ses

harmoniques. La prédominance des harmoniques H3, H5 devient nette au delà de 60° comme l'illustre le schéma suivant :



C'est ainsi qu'une cloche dont le rythme serait de 60 coups par minute (soit une fréquence H1 de 0,5 Hz) est susceptible d'induire dans les clochers une fréquence d'excitation de 0,5 Hz, mais également une autre fréquence H3 correspondant au triple de sa fréquence de balancement soit 1,5 Hz. Cette valeur de fréquence est fréquemment voisine de celles pour lesquelles une tour est susceptible d'entrer en résonance.

Il est donc fondamental de veiller à limiter l'amplitude du balancement pour préserver la cloche et le bâtiment qui l'accueille.

### ***Le problème de l'usure des cloches.***

Il convient de noter que ce problème est préoccupant pour des cloches anciennes qui présentent une valeur patrimoniale.

Au cours de son existence, le battant frappe la cloche des milliers, voire des millions de fois sur deux points de son profil intérieur. Il s'en suit une usure aux points de frappe que l'on apprécie à la perte d'épaisseur du profil qui fragilise la cloche. A cette perte d'épaisseur il convient d'ajouter que des microfissures se développent au départ des points de frappe, correspondant à un phénomène de fatigue du métal, phénomène bien connu dans les matériaux soumis à des contraintes cycliques.

L'usure peut être telle que la perte d'épaisseur peut atteindre jusqu'à 20 à 30 % de l'épaisseur nominale de la cloche. Si l'on ne rencontre jamais de cloches usées au delà de telles valeurs, c'est que généralement elles ont été fêlées sous l'effet de cette frappe répétée. Il en va donc des cloches comme des êtres vivants : elles ont une durée de vie finie dont la valeur ne peut être connue.

Pour soulager des cloches et accroître leur durée de vie, il existe une solution qui consiste à tourner les cloches de façon à renouveler la zone de frappe. Il est donc fréquent de voir des cloches anciennes tournées d'un quart de tour. L'anneau intérieur de frappe révèle donc des traces d'impact du battant hors du plan du mouvement de balancement. Ainsi l'on peut augmenter la durée de vie de la cloche. Il arrive que la rotation d'un quart de tour soit ensuite portée au 8<sup>ème</sup> de tour : il est heureux que ces précautions prises dans certains lieux nous aient permis de nous transmettre des cloches médiévales. Plus encore, il est heureux quand ces modifications n'ont pas entraîné le remplacement des jougs et des ferrures anciennes (ou qu'elles ont été reforgées et adaptées).

Bien entendu, le procédé de rotation des cloches a ses limites. On peut enfin envisager de recharger les bords usés des cloches anciennes par apport de métal. Il s'agit d'un processus lourd et délicat, qui impose de porter les cloches à une température élevée (de l'ordre de 600 °C) pour faire fondre localement du bronze afin de régénérer l'épaisseur de métal. Le principe d'une telle restauration peut se poser, sauf à limiter de façon drastique l'emploi des cloches pour cesser d'accroître leur usure.

Il va sans dire là encore que la préservation des cloches en limitant leur usure suppose que l'amplitude de balancement et l'équilibrage soient parfaitement optimisés, ce qui appelle de l'installateur une attention toute particulière sur la qualité du montage et le réglage des moteurs de volée.

### ***Conclusion***

La restauration des cloches ne porte pas que sur le respect de la conservation des cloches et de leurs équipements mécaniques anciens, mais aussi sur la vérification d'un paramétrage de fonctionnement optimisé de nature à préserver les cloches, déterminer une sonnerie harmonieuse, et solliciter au minimum un bâtiment ancien.