

## **Catégorisation des sons de liquides**

P. Guyot<sup>a</sup>, O. Houix<sup>b</sup>, N. Misdariis<sup>b</sup>, P. Susini<sup>b</sup>, J. Pinquier<sup>a</sup> et R. André-Obrecht<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Institut de recherche en informatique de Toulouse (IRIT), Université Paul Sabatier, 118 Route de Narbonne, 31062 Toulouse, France

<sup>b</sup>STMS Ircam-CNRS-UPMC, 1 Place Igor-Stravinsky, 75004 Paris, France  
guyot@irit.fr

Les sons produits par l'eau et les liquides sont fréquemment entendus au quotidien, par exemple lors de la réalisation de diverses activités au domicile. S'ils peuvent prendre des formes acoustiques très différentes, les sons de liquide sont néanmoins facilement regroupés et identifiés au sein d'un ensemble de sons de l'environnement. Afin d'explicitier le processus cognitif lié à l'identification de ces sons, nous présentons une expérience impliquant des auditeurs et destinée à déterminer des catégories perceptives de sons de liquide. Une analyse statistique par groupements hiérarchiques ascendante nous a permis d'identifier des classes de sons et des labels ont été proposés à partir d'une analyse lexicale statistique des verbalisations. Les résultats sont présentés sous forme d'une structure identifiant les différentes catégories de sons de liquide du quotidien. Au delà d'apporter une meilleure connaissance de nos représentations du monde sonore, ces expériences permettent de valider des approches de reconnaissance automatique en traitement de signal pour reconnaître les sons d'eau dans la vie quotidienne.

## 1 Introduction

« Le premier son entendu ? Ce fut la caresse de eaux ». C'est ainsi que R. Murray Schaffer amorce son fameux livre décrivant le concept de *soundscape* [1].

Si les sons d'eau évoquent facilement des paysages naturels extérieurs, ils sont également très présents au sein de notre habitation. Historiquement, la proximité de l'eau semble avoir exercé un rôle majeur dans la sédentarisation. La mise en place de l'eau courante, puis de l'eau chaude, a amélioré successivement les conditions de confort au sein de l'habitat. Ainsi, les sons de liquide se retrouvent de nos jours dans diverses activités de la vie quotidienne, notamment les activités liées à l'alimentation, à l'hygiène ou à l'entretien, qui produisent de nombreux sons d'une grande variabilité acoustique : *robinet ouvert, ébullition, mouvements d'eau dans l'évier ou dans la baignoire, essorage, chasse d'eau*.

Du point de vue acoustique, les phénomènes impliqués dans les sons d'eau et de liquide sont connus depuis de nombreuses années [2]. Ces sons sont principalement produits par des vibrations des bulles d'air emprisonnées dans l'eau. Ces dernières années, différentes études effectuées dans le domaine de la synthèse sonore [3, 4] montrent une grande capacité à produire des sons d'eau variés à partir d'un modèle simple de vibration de bulles d'air dans l'eau. Au final, l'addition de sons de bulles d'air semble pouvoir créer, par exemple dans le cas des flux d'eau, un ensemble très complexe et bruyant, où la perception unitaire des bulles n'est plus possible.

Ainsi, du point de vue de la perception humaine, de nombreuses questions restent en suspens, notamment sur la manière dont ces sons variés sont catégorisés et identifiés par des humains. Dans cet article, nous proposons une expérience de classification libre, afin d'explorer la manière dont des participants humains regroupent les sons qu'ils jugent similaires. Les ensembles obtenus forment des catégories de sons de liquide. La partie 2 propose un état de l'art des études effectuées sur la perception des sons produits par l'eau, dans le cadre plus vaste de la perception des sons environnementaux. La partie 3 détaille les expériences effectuées, dont les résultats sont analysés dans la partie 4. Nous terminons par des applications décrites dans la partie 5.

## 2 État de l'art

### 2.1 Perception de sons de liquide

Dans le cadre de la perception sonore, nous ne connaissons que deux études basées exclusivement sur les sons produits par l'eau et les liquides. Geffen s'intéresse ainsi à la structure spectro-temporelle de ces sons d'eau, qui

possèdent des propriétés remarquables [5]. Une expérience effectuée sur un enregistrement de ruisseau montre que la scène sonore reste perçue comme naturelle même si le son est lu à des vitesses différentes. Ce phénomène s'explique par la structure du son qui reste invariante à des transformations spectro-temporelles. Selon les auteurs, un son serait même perçu comme similaire à l'eau s'il est invariant à la mise à l'échelle.

Une autre étude intéressante a été effectuée sur les sons de remplissage de contenant [6], qui produit une montée en fréquence du son de vibration du contenant. Dans cette étude, les auteurs affirment que le son de cette vibration, qui est ajouté aux « gargouillis » de l'eau, permet perceptivement d'obtenir des indices sur le volume rempli.

Au delà de ces études spécifiques, les sons produits par l'eau sont en général étudiés dans le contexte plus global des sons environnementaux.

### 2.2 Taxonomie des sons environnementaux

Les sons environnementaux sont notamment décrits comme « tous sons autre que la musique ou que la parole » [7]. Ils sont en général entendus selon « l'écoute de tous les jours », décrite par Gaver comme un type d'écoute où l'auditeur s'attache à déterminer la cause du son [8].

Dans ce cadre, Gaver propose des catégories basées sur la source physique en vibration à l'origine de ces sons. Il identifie trois grandes classes (**solide, liquide, gaz**) ainsi que des catégories hybrides. La figure 1 résume ainsi la taxonomie de Gaver relative aux sons de liquides, et montre des exemples de sons, en terme d'objets impliqués ou d'actions.

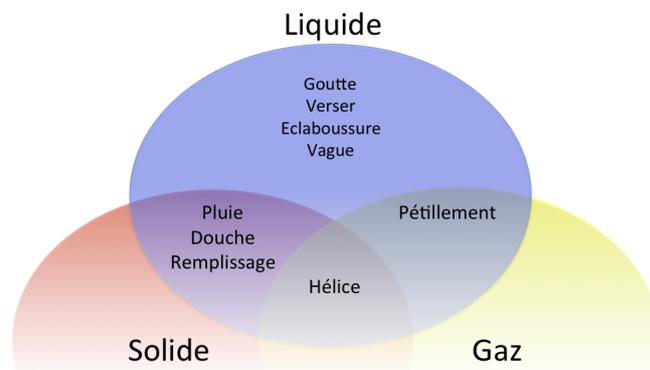


FIGURE 1 – Taxonomie des sons de liquides inspirée par Gaver [8].

Cette étude de Gaver fournit une taxonomie des sons produits par les liquides, au sein des sons environnementaux.

Néanmoins, cette classification manque de validation perceptive.

Dans la littérature, les catégories sont en effet validées par des expériences, dans lesquelles les utilisateurs effectuent des tris. La thèse de Nancy Vanderveer représente le point de départ de différentes études de classification libre de sons environnementaux [9]. Frédérique Guyot reporte ainsi des expériences de catégorisation libre [10] sur des sons issus de la vie domestique. Toutefois les sons de liquide sont peu présents dans ses expériences. Marcell et ses collaborateurs proposent une expérience à partir de 120 sons et obtiennent 27 catégories, dont la catégorie *eau/liquide*, qui contient 6 sons (verser, bulles, rivière, gouttes, canalisation, friture) [11].

Dans [12], Giordano explore les différences de perception entre les sons produits par des actions et les autres sons. Les sons produits par des mouvements évoquant clairement un geste humain engendrent des catégories différentes.

Au regard de ces différentes études, il semble ainsi que les sons puissent être classés selon différents types de similarités, qui peuvent être regroupées en trois catégories :

- acoustiques (timbrale, temporelle, rythmique, etc.),
- causales (objet, action, etc.),
- sémantiques ou contextuelles (lieu, évènement, usage, etc.).

Dans [13], les auteurs s'attachent à déterminer les possibles causes influençant le type de similarité utilisé. Les expériences montrent qu'en général, le type de similarité utilisé n'est pas parfaitement maîtrisé par les participants. D'autre part, les participants experts utilisent plus volontiers la similarité acoustique que les participants non-experts. Au niveau de l'incertitude causale, les sons difficilement identifiés sont en général classés selon des critères acoustiques.

Dans [14], les auteurs interrogent la validité perceptive de la classification de Gaver sur un corpus de sons pouvant être entendus au sein du domicile. Les principales classes trouvées à l'issue de ces expériences sont similaires aux grandes catégories proposées par Gaver : **solide**, **liquide**, **gaz**; la catégorie **machine** apparaissant également. Les résultats montrent également que les sons dont la production est en partie due à l'élément liquide sont systématiquement classés dans la catégorie **liquide**. Cette observation est en contradiction avec la distinction de la taxonomie de Gaver entre la classe **liquide** et les classes hybrides comme **liquide/solide**. Dans une deuxième expérience, les auteurs s'intéressent spécifiquement au son produit par les solides pour étudier les sous-catégories de cette classe. Cette fois, les résultats s'éloignent des sous-catégories de la classe **solide** proposées par Gaver. Les analyses montrent deux classes principales, appelées *interactions discrètes* et *interactions continues*.

Les résultats de ces expériences permettent d'utiliser une taxonomie des sons environnementaux validée par des expériences perceptives. Elles proposent une organisation générale de la perception des sons environnementaux, et une description plus précise des catégories de sons de solides. Par contre, aucune expérience spécifique n'a été effectuée sur les sons de la catégorie **liquide**. Cette catégorie nécessite donc des expériences supplémentaires pour pouvoir déterminer

les différents groupes de sons de liquides. Dans la partie suivantes, nous décrivons un ensemble de traitement et d'expériences effectuées dans le but d'obtenir des catégories de sons de liquide selon des critères causaux.

## 3 Expériences

### 3.1 Matériel

Les expériences d'écoutes décrites dans cette partie ont été effectuées à l'IRCAM<sup>1</sup> en cabine insonorisée. Les stimuli sonores ont été joués par l'intermédiaire d'un ordinateur MacBookPro, d'une carte son RME 400 et d'enceintes YAMAHA MSP5.

### 3.2 Constitution du corpus

Pour effectuer l'expérience de classification libre, nous avons dans un premier temps construit un corpus reflétant la variété des sons de liquides du quotidien.

#### 3.2.1 Inventaire des lexèmes liés au son d'eau

Pour constituer ce corpus nous avons identifié de manière lexicale les sons faisant intervenir l'élément liquide dans leur production. Pour identifier les lexèmes liés aux sons de liquide, nous avons utilisé plusieurs dispositifs :

**Taxonomie de Gaver :** une liste de base a été constituée à partir de la taxonomie de Gaver. Cette étude nous a donné plusieurs types d'actions et d'exemples sonores, qui selon Gaver sont représentatifs des sons.

**Questionnaires :** cette première liste de mots a été complétée par l'utilisation d'un questionnaire, contenant la question suivante : *dressez une liste de tous les événements sonores faisant intervenir dans la production du son un élément liquide (matière plus ou moins visqueuse), et que vous pourriez entendre à l'intérieur d'une maison*. Suite au retour de ces questionnaires, différentes lexèmes ont été ajoutés à la liste comme par exemple le verbe *vaporiser*.

**Réseau de mots :** nous avons utilisé des réseaux de mots, notamment le projet *Wordnet*<sup>2</sup> dans lequel sont définies un ensemble de relations sémantiques entre les mots.

#### 3.2.2 Collectage de fichiers audio

Dans des bases de données sonores, nous avons sélectionné tous les sons dont le label contenait un des lexèmes trouvés dans l'étape précédente. Nous avons ainsi collecté un ensemble de plus de 700 fichiers audio à partir des bases de sons suivantes : Auditory Lab<sup>3</sup>, BBC Sound Effects Library - Original Series<sup>4</sup>, Blue Box Audio Wav<sup>5</sup>,

1. <http://www.ircam.fr>

2. <http://wordnet.princeton.edu/>

3. <http://www.psy.cmu.edu/auditorylab/website/index/home.html>

4. <http://www.sound-ideas.com/sound-effects/bbc-1-40-cds-sound-effects-library.html>

5. Best Service GmbH, München, Germany

Hollywood Edge Premiere Edition I, II and III<sup>6</sup>, Sound Ideas General Series 6000<sup>7</sup>, SoundScan v2 Vol. 61<sup>8</sup>.

Nous avons effectué un traitement sur le corpus pour éliminer les redondances trop évidentes, c'est-à-dire les sons acoustiquement similaires et produits par la même cause. À l'issue de ce processus, 81 stimuli sonores différents ont été conservés.

### 3.3 Préparation des données

#### 3.3.1 Édition des sons

Les fichiers sonores ont été édités afin d'obtenir un ensemble continu et homogène en durée, tout en gardant l'aspect événementiel du son.

#### 3.3.2 Égalisation écologique

Les sons provenant de bases de données différentes, les conditions d'enregistrement diffèrent d'un son à l'autre. L'objectif de l'égalisation écologique est de modifier la sonie des éléments du corpus pour constituer un ensemble réaliste, de manière à ce que les participants entendent les sources sonores à leur niveau réels. Dans ce traitement, nous utilisons un son de référence (un son de robinet ouvert) qui est calibré en cabine d'écoute à partir des mesures de l'intensité sonore d'un vrai son de robinet (voir figure 2).



FIGURE 2 – Calibrage : robinet ouvert / cabine d'écoute.

Les participants écoutent des couples composés du son de référence et d'un stimulus. Ils doivent ajuster le volume du stimulus afin d'obtenir un ensemble réaliste.

Neuf participants ont effectué ce traitement. À l'issue de cette expérience, le volume de chaque son du corpus a été modifié en fonction du volume sonore médian choisi par les participants.

#### 3.3.3 Suppression des sons mal identifiés

Dans cette étape, nous supprimons les sons mal identifiés, pour éviter qu'ils ne soient classés selon des critères acoustiques. Selon les études précédentes, la confiance des participants dans leur identification du son est fortement corrélée avec leur capacité à effectivement identifier le son. Nous utilisons donc une mesure de confiance dans l'identification, telle que décrit dans [13].

Les participants doivent écouter chaque son (deux écoutes possibles) et répondre à la question suivante :

*Parvenez à vous représenter la cause du son ?*

Ils doivent alors choisir l'une des 5 réponses suivantes :

- *Je ne sais pas du tout*
- *Je ne suis vraiment pas certain*
- *J'hésite entre plusieurs types de causes*
- *Je suis presque certain*
- *Je me représente parfaitement la cause*

Treize nouveaux participants ont effectué cette expérience. À l'issue du traitement, 17 sons ont été éliminés selon la moyenne des participants, par exemple le son correspondant au label *goutte d'eau sur une plaque chaude*.

### 3.4 Classification libre

L'expérience de classification libre a été effectuée sur les 64 stimuli sélectionnés. Elle se déroule en deux phases. La première phase consiste à créer des groupes de sons, selon la consigne suivante qui incite les participants à utiliser une similarité causale : *Former des classes de sons en fonction de l'événement physique qui a causé le son. Par exemple pour les sons : « pétard », « ballon percé », « pneu de voiture qui éclate », l'événement physique qui a produit le son pourrait être « explosion ».*

Dans la deuxième phase de l'expérience, les participants ne peuvent plus déplacer les sons ou modifier les groupes. Ils doivent décrire chaque classe par un mot ou une phrase. Pour cette expérience, nous avons utilisé le logiciel TCL-LabX [15]. Trente participants n'ayant pas d'expertise particulière dans le son ou dans la musique ont effectué cette expérience et ont été rétribués.

## 4 Analyse

Les participants ont effectué en moyenne 10 classes de sons. Deux personnes ont effectué le minimum de 3 classes, le maximum étant de 18 classes.

### 4.1 Analyse interparticipants

Pour calculer la similarité entre les stratégies des participants, nous effectuons un traitement analogue à celui décrit dans [16] : nous calculons le coefficient  $R_v$  entre chaque paire de participants. Une analyse en composantes principales est effectuée sur les valeurs de coefficient  $R_v$  obtenues.

Nous observons ainsi qu'un participant se détache particulièrement du groupe. Au regard des résultats de la classification, ce participant a en fait effectué trois classes dont les verbalisations correspondent à *cuisine*, *WC*, et *salle de bain*. Ces verbalisations montrent que le participant a effectué sa classification sur l'unique base du contexte d'écoute du son. Cette similarité contextuelle ne correspond pas à la classification demandée dans la consigne, basée sur l'événement physique qui a causé le son. Ce participant a donc été supprimé de notre analyse. Nous présentons dans la suite une analyse des classes effectuées par les 29 participants restants.

6. The Hollywood Edge, Hollywood, USA

7. Sound Ideas, Ontario, Canada

8. Ultimate Sound Bank, Paris, France

## 4.2 Classification hiérarchique

### 4.2.1 Matrice de distance

Nous effectuons une analyse par regroupements hiérarchiques ascendants, ce qui produit un dendrogramme. La distance de regroupement est choisie parmi les distances suivantes : la distance la plus petite, la distance la plus grande, la distance médiane, la distance moyenne (*Weighted Pair Group Method with Averaging*), et la distance moyenne pondérée par le nombre d'éléments des groupes (*Unweighted Pair Group Method with Averaging*). La méthode moyenne est choisie car elle permet d'obtenir le meilleur coefficient de corrélation cophénétique, d'une valeur égale à 0,86.

Pour identifier les classes, une méthode courante consiste à utiliser un seuil sur la hauteur des liens de fusion dans l'arbre. Nous avons privilégié une autre méthode, basée sur le critère de compacité [17]. La compacité est calculée en comparant la hauteur de chaque lien de l'arbre avec la hauteur des liens inférieurs issus de la même branche. En changeant le seuil sur le critère de compacité nous pouvons obtenir un découpage de granularité différente en 3 et 8 classes. Nous proposons ainsi le découpage illustré sur la figure 3.

### 4.3 Analyse lexicale

L'étape suivante de notre analyse consiste à proposer un portrait lexical des classes obtenues à partir des verbalisations des participants. Nous utilisons une analyse textométrique des verbalisations effectuées par les participants, afin de proposer des labels correspondant au mieux à leur classification. Nous avons utilisé le logiciel Txm<sup>9</sup> sur les verbalisations des participants pour regrouper certains mots dans un processus de lemmatisation.

Pour chaque son, les verbalisations produites par chaque participant pour décrire la classe correspondante sont agrégées. À l'issue de cette étape, les descriptions de chaque son sont regroupés en fonction de la classification hiérarchique. Pour chaque classe, nous identifions les cooccurrences lexicales, c'est-à-dire les termes utilisés plusieurs fois. Nous calculons pour chaque terme sa spécificité [18] et obtenons l'arbre sémantique illustré à la figure 3.

## 4.4 Discussion

### 4.4.1 Validité de la catégorisation

La classe **A** est une des classes les mieux définies de l'arbre. Elle est très compacte. Les sons d'eau dans des tuyaux semblent donc être caractéristiques d'un type de cause bien établi. Il est intéressant de constater que ce type de son est particulièrement lié au contexte du domicile.

La classe **B** est plus difficile à analyser. Nous pouvons nous interroger sur la validité du découpage en 6 sous-classes. Par exemple, la catégorie formée par les deux sons de la classe  $B_5$ , fusionnés à une hauteur importante, est très discutable.

La classe **C** est la plus grande des classes et contient 20 sons. Elle n'est pas très compacte et sa hauteur est très importante. Néanmoins, d'autres types de

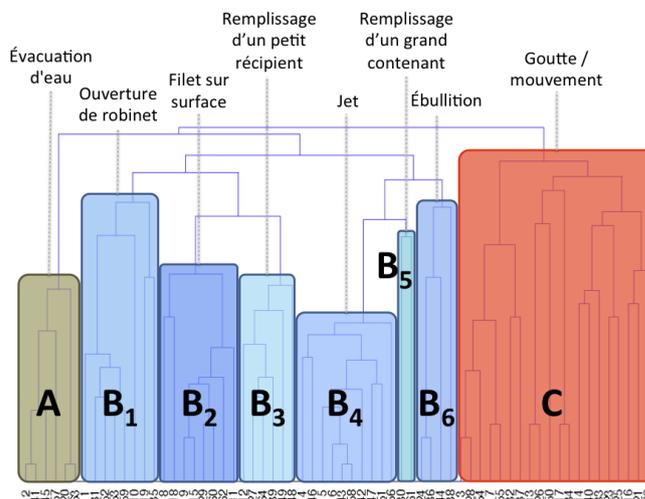


FIGURE 3 – Arbre des classes de sons liquides.

regroupements à l'intérieur de cette classe semblent difficilement envisageables.

### 4.4.2 Comparaison avec les labels des stimuli

Une comparaison entre les labels des classes et les labels des stimuli a été effectuée. Cette comparaison montre une forte corrélation entre les labels des classes et ceux des sons inclus. Toutefois, la classe  $B_4$  contient un son probablement mal identifié dont le label est *steak frit sur un grill*.

### 4.4.3 Sons discrets et continus

À la différence des classes **A** et **B**, les causes des sons de la classe **C** sont en général très limitées dans le temps. Cette classe correspond principalement à des chutes de gouttes séparées, à des bulles d'air isolées ou à différents types de mouvements (secouer, mouvement dans le bain, chute d'objet).

Nous pouvons ainsi effectuer une analogie avec la perception des sons d'interactions solides [14], en considérer les classes de sons *discrets* et *continus*. Les classes **A** et **B**, contenant des sons plus continus, sont en effet regroupés dans l'arbre, bien que la hauteur de fusion soit importante.

### 4.4.4 Variation de débit d'eau

La différence entre sons discrets et continus peut s'exprimer pour certains sons en terme de débit. Les événements sonores dont la cause physique est la chute de gouttes d'eau ou la remontée à la surface de bulles d'air produisent des sons variés en fonction du débit de gouttes d'eau ou de bulles d'air. Ces différences de débit semblent être un critère de catégorisation pertinent pour les participants. En plus des classes de sons *discrets* et *continus* que nous avons évoquées, ces variations de débit interviennent également dans les sous-classes de la classe **B**. Les classes  $B_2$  et  $B_4$  se différencient ainsi par le débit du *filet* d'eau sur la surface qui devient *jet*. À l'écoute des stimuli, nous remarquons que les sons de la classe  $B_2$ , présentent un bruit continu de type flux d'eau, mais également des événements discrets identifiables. Par contre, dans la classe  $B_4$ , le flux d'eau masque les événements discrets, qui deviennent difficilement audibles.

9. <http://textometrie.ens-lyon.fr/>, TXM 0.7.2

De même que le débit, la taille des objets impliqués peut constituer un critère de catégorisation. Ainsi, en prenant en compte la taille des objets et le débit, nous pouvons observer un certain parallélisme entre les paires de classes *filet sur surface / remplir un petit récipient* et *jet / remplir un grand contenant*.

**4.4.5 Surfaces**

Au niveau des surfaces sur lesquels tombe l'eau, nous avons vu que les gouttes tombant dans l'eau ou sur une surface solide sont regroupées dans la classe C. Par contre, dans la classe B, ces deux types de sons semblent avoir été séparés.

L'écoute des sons de la classe B<sub>1</sub>, *robinet ouvert*, révèle beaucoup de sons d'eau coulant dans l'eau. La distance entre ces sons est assez petite, contrairement à la distance de fusion des trois autres sons.

Pourtant la notion d'eau coulant ou tombant dans l'eau n'apparaît pas dans l'analyse des verbalisations, contrairement à la notion de surface solide qui est très visible dans la classe B<sub>2</sub>, ou dans la classe B<sub>4</sub> avec le mot *sol*. L'analyse des verbalisations individuelles peut expliquer en partie ce phénomène. D'une part les formulations de l'eau tombant dans l'eau sont variés : *de l'eau se déversant dans de l'eau, eau qui coule dans un récipient déjà rempli d'eau, dans un liquide*. D'autre part les termes utilisés pour décrire la matière dans laquelle tombe l'eau (*eau, liquide*) ne sont pas spécifiques à cette classe.

Ces deux raisons ne suffisent peut être pas complètement pour expliquer pourquoi l'eau coulant dans l'eau n'apparaît pas dans l'analyse des verbalisations. Nous pouvons supposer que la cause du son apparait aux participants de manière plus claire lorsqu'elle résulte d'une interaction avec un solide, comme dans le cas d'une surface solide ou d'un récipient.

**4.4.6 Synthèse**

La figure 4 illustre les résultats de cette étude de catégorisation. Dans cette figure, nous avons considéré les classes de sons *discrets* et *continues* et regroupé les sons de remplissage.

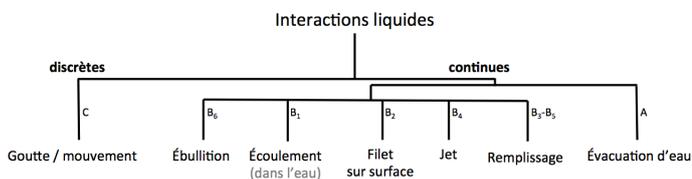


FIGURE 4 – Arbre des classes de sons liquides.

**5 Applications**

**5.1 Taxonomie des sons environnementaux**

Les classes de sons de liquides obtenues par les expériences permettent de compléter la taxonomie des sons environnementaux obtenues précédemment [14]. Elle permet de plus de mettre en évidence des analogies entre

les sons produits par les liquides et les sons produits par les solides.

**5.2 Reconnaissance automatique de sons d'eau**

Cette taxonomie de sons de liquide a servi de support au test de systèmes de reconnaissance automatique de sons d'eau. Elles ont ainsi permis de valider l'utilisation de deux approches : une approche basée sur la détection de zones fréquentielles bruitées, qui permet d'identifier les sons bruités et continus tels que les flux d'eau [19]; et une approche basée sur un modèle physique qui permet d'identifier des zones correspondantes aux vibrations de bulles d'air dans l'eau [20].

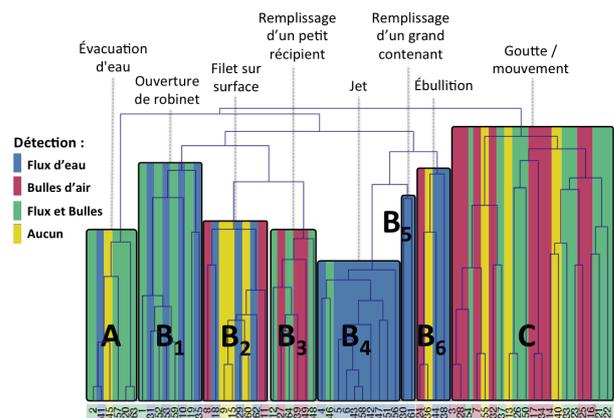


FIGURE 5 – Utilisation des systèmes de reconnaissance.

La figure 5 montre les résultats des systèmes correspondant à ces deux approches sur les catégories cognitives trouvées. Les sons illustrés en bleu, rouge et vert ont été correctement détectés comme son d'eau par les systèmes basés respectivement sur le flux d'eau, les bulles d'air, ou les deux. Les résultats montrent que l'addition de ces deux approches a permis de reconnaître 87% des sons du corpus. D'autre part, plus de la moitié des sons n'ont été identifiés que par une seule des deux méthodes, ce qui confirme l'aspect nécessaire de ces deux types d'approches différentes pour reconnaître un ensemble varié de sons du quotidien.

**6 Conclusion**

Dans cet article, nous avons présenté des expériences visant à identifier des catégories de sons provoqués par l'eau et les liquides dans le cadre de l'habitation. Nos expériences nous ont conduit à l'identification des catégories suivantes : **gouttes/mouvement, ébullition, écoulement (dans l'eau), filet sur surface, jet, remplissage, évacuation d'eau**. Les classes établies permettent de compléter les taxonomies de sons environnementaux obtenues dans les études antérieures. Ces catégories permettent de plus d'identifier des classes de test pour la validation d'approches de reconnaissance automatique de sons d'eau.

## Références

- [1] R. Murray Schafer, The tuning of the world, *Knopf New York* (1977).
- [2] Sir W. H. Bragg, The World of Sound, *Bell*, London (1921).
- [3] K. Van den Doel, Physically based models for liquid sounds, *ACM Transactions on Applied Perception, TAP*, 534–546 (2005).
- [4] W. Moss, H. Yeh, J.M. Hong, M.C. Lin et D. Manocha, Sounding liquids: Automatic sound synthesis from fluid simulation, *ACM Transactions on Graphics, TOG*, 3, 21 (2010).
- [5] M.N. Geffen, J. Gervain, J.F. Werker, et M.O. Magnosco, Auditory perception of self-similarity in water sounds, *Frontiers in Integrative Neuroscience* (2011).
- [6] P. Cabe, J.B. Pittenger, Human sensitivity to acoustic information from vessel filling, *Journal of experimental psychology: human perception and performance* (2000).
- [7] B. Gygi, G Kidd, C. Watson, Similarity and categorization of environmental sounds, *Perception & psychophysics* (2007).
- [8] W. Gaver, What in the world do we hear?: An ecological approach to auditory event perception, *Ecological psychology* (1993).
- [9] N. VanDerveer, Ecological acoustics: Human perception of environmental sounds, *phdThesis, Cornell University* (1979).
- [10] F. Guyot, Étude de la perception sonore en termes de reconnaissance et d'appréciation qualitative: une approche par la catégorisation, *phdThesis, Université du Maine* (1996).
- [11] M. Marcell, D. Borella, M. Green, E. Kerr et S. Rogers, Confrontation naming of environmental sounds, *Journal of Clinical and Experimental*, 830–864, (2000).
- [12] B. Giordano, J. McDonnellet S. McAdams, Hearing living symbols and nonliving icons: Category specificities in the cognitive processing of environmental sounds, *Brain and cognition*, (2010).
- [13] G. Lemaitre, O. Houix, N. Misdariis et P. Susini, Listener expertise and sound identification influence the categorization of environmental sounds, *Journal of Experimental Psychology: Applied* (2010).
- [14] O. Houix, G. Lemaitre, N. Misdariis, P. Susini et I. Urdapilleta, A lexical analysis of environmental sound categories, *Journal of Experimental Psychology: Applied* (2012).
- [15] P. Gaillard, Laissez-nous trier ! TCL-LabX et les tâches de catégorisation libre de sons, *Le sentir et le dire. Concepts et méthodes en psychologie et linguistique cognitive* (2009).
- [16] H. Abdi, D. Valentin, S. Chollet et C. Chrea, Analyzing assessors and products in sorting tasks: DISTATIS, theory and applications, *Food quality and preference*, 627–640, (2007).
- [17] A. Jain et R. Dubes, Algorithms for clustering data, *Prentice Hall Englewood Cliffs* (1988).
- [18] P. Lafon, Dépouillements et statistiques en lexicométrie, *Slatkine* (1984).
- [19] P. Guyot, J. Piquier et R. André-Obrecht, Water flow detection from a wearable device with a new feature, the spectral cover, *Proceedings of the 10th International Workshop on Content-Based Multimedia Indexing, CBMI* (2012).
- [20] P. Guyot, J. Piquier et R. André-Obrecht, Water sound recognition based on physical models, *Proceedings of the 38th International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, ICASSP* (2013).