

UNE APPLICATION DE LA LOGIQUE FLOUE EN ACOUSTIQUE : L'EVALUATION DE L'INFLUENCE DES CONDITIONS METEOROLOGIQUES SUR LA PROPAGATION DU SON

Etienne SECHET

Laboratoire Régional des Ponts & Chaussées - Section Propagation des Ondes
23, Avenue de l'amiral Chauvin - 49136 Les Ponts de Cé cédex
☎ 41.79.13.86 - Email sechet@math-appli-uco.fr

-I- INTRODUCTION

Il n'est nullement nécessaire d'être acousticien pour avoir conscience de l'influence des conditions atmosphériques sur la propagation du son. Habituellement, cette connaissance populaire n'exprime pas une relation de cause à effet, mais plutôt une régularité statistique entre, d'une part une détection acoustique particulière, et d'autre part, un état atmosphérique, connu pour sa faculté à générer telle ou telle condition météorologique. Par exemple : "*Tiens ! j'entends le train !*" (sous entendu : *le vent est au Nord, la température va baisser*), "*il risque de pleuvoir*".

L'acousticien, lui, résonne de façon inverse, puisqu'il associe à son appréciation de l'atmosphère, une atténuation ou un renforcement acoustique, dû aux effets météorologiques. Dans l'exemple précédent, celui-ci dirait : "*mon récepteur est au Sud de la voie ferrée, le vent est au Nord, donc le vent favorise la propagation du son, et le niveau mesuré sera supérieur à ce qu'il devrait être en conditions neutres*".

La présente recherche tente d'aider l'acousticien de terrain à répondre à la question : "*supérieure (ou inférieure) mais de combien ?*", et ceci à l'aide de l'information météorologique dont il dispose, issue de sa seule appréciation de l'état de l'atmosphère, au moment de la mesure.

Les laboratoires des P&C sont confrontés à ce problème lors de constats de niveaux sonores effectués à l'aide de mesures puisque celles-ci sont comparées à des limites réglementaires qui induisent des actions différentes.

Aussi, la prise en compte des influences météorologiques lors de la mesure est-elle primordiale pour l'interprétation des niveaux obtenus, et pour la justification des actions à entreprendre.

La complexité des phénomènes mis en jeu est telle que dans l'état actuel des choses, ces influences météo ne sont pas (ou très peu) prises en compte.

On présentera tout d'abord un bref descriptif des phénomènes physiques concernés par la propagation acoustique en milieu extérieur, et de différents travaux sur ce domaine, mais par des approches tout à fait différentes. On justifiera ensuite une approche par la logique floue, puis on en présentera les principaux modes d'utilisation et de développement.

-II- INFLUENCES DES CONDITIONS METEO SUR LA PROPAGATION DU SON.

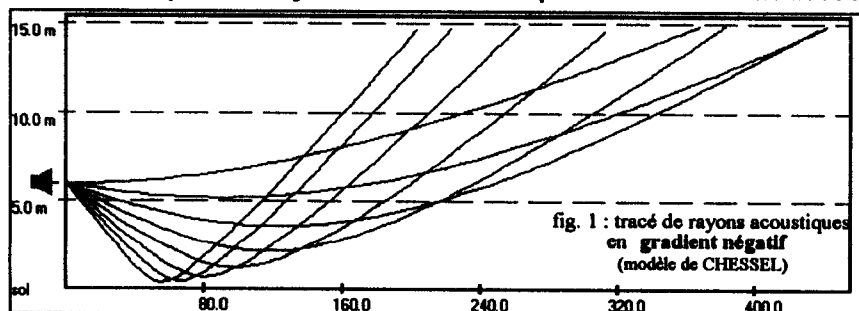
-II-1 : Les facteurs primordiaux :

Les fluctuations du niveau sonore à grande distance d'une source stable sont quasi-exclusivement dues aux variations spatiales de la vitesse du son [1],[2] laquelle est fonction des caractéristiques de vent (vitesse et direction) et de la température.

En conditions neutres, c'est à dire lorsque l'air est constant en température et en mouvement en tout point de l'espace, le son se propage en ligne droite. Une variation spatiale de la température ou du vent produit une modification dans la trajectoire des rayons par réfraction des ondes acoustiques. Si on considère l'atmosphère stratifiée horizontalement, c'est donc le profil de vent et celui de température, en fonction de l'altitude, qui conditionnent la propagation sonore.

Influence du profil de température

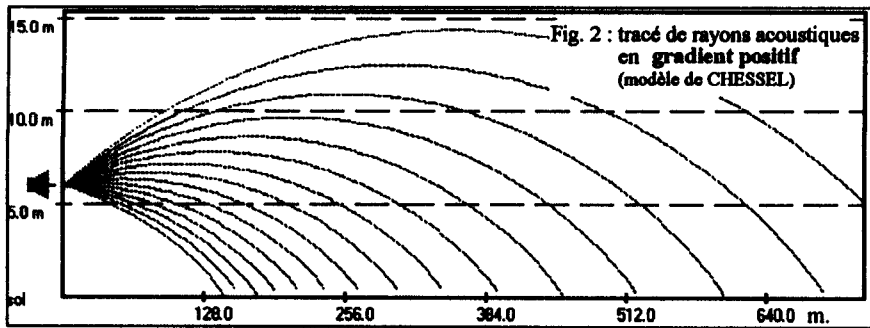
Lorsque le soleil réchauffe fortement le sol, celui-ci communique moins d'énergie aux couches atmosphériques avoisinantes qu'il n'en reçoit lui-même. La température décroît donc avec l'altitude (=gradient de température négatif).



La trajectoire des rayons est alors incurvée vers le haut (cf fig. 1), ce qui se traduit par une diminution de l'énergie acoustique perçue par un récepteur.

En outre, ce type de profil thermique est typique d'une situation instable puisque les couches atmosphériques chaudes sont placées sous les couches froides.

A l'inverse, lorsque le sol communique plus d'énergie aux couches atmosphériques qu'il n'en reçoit lui-même, la température augmente avec l'altitude (= **gradient de température positif**). Cet état se rencontre au moment du lever ou du coucher du soleil, et la nuit si le ciel est dégagé.



La trajectoire des rayons est incurvée vers le bas (cf fig.2), ce qui se traduit par une augmentation de l'énergie acoustique (i.e. propagation renforcée) par rapport à une situation neutre.

Influence du profil de vent

Le gradient de vent est toujours positif. Cependant, la projection de sa direction sur l'axe de propagation source-récepteur, a une influence primordiale. On définit alors le gradient de vecteur vent comme

le produit du gradient de vent (toujours positif) par le cosinus de l'angle entre la direction de vent et l'axe de propagation source récepteur. Ainsi le gradient de vecteur vent est-il négatif en vent contraire, et positif en vent portant.

De même que pour la température, un gradient négatif (vent contraire) induit des rayons incurvés vers le haut (fig. 1) et un gradient positif (vent portant), des rayons incurvés vers le bas (fig. 2).

Dans la réalité, les actions thermiques et aérodynamiques sont simultanées, et on observe constamment des phénomènes de synergie des effets (les deux gradients de même signe) ou de compensation (gradients de signe opposés) partielle ou totale.

L'extrême instabilité des profils, dans le temps mais aussi dans l'espace, fait que d'une part le niveau sonore perçu à grande distance d'une source stable fluctue en permanence, et que d'autre part il est très difficile de caractériser l'état atmosphérique sur l'ensemble de la propagation.

La période de fluctuation des profils est très variable et peut descendre à quelques fractions de secondes pour les effets liés à la turbulence aléatoire.

-II-2 : Approche expérimentale :

Outre une approche théorique de la modélisation des phénomènes physiques [3], le réseau des laboratoires des Ponts & Chaussées a entrepris une approche expérimentale visant à constituer une base de données et à l'exploiter de façon à définir des relations quantitatives empiriques utilisables en application opérationnelle.

Un dispositif expérimental a donc été mis en place à plusieurs reprises dans la plaine de La Crau, en Camargue, constituant un espace parfaitement plan, dégagé et homogène sur plusieurs kilomètres.

Ce dispositif permettait de mesurer en continu et simultanément différents facteurs météorologiques et des niveaux acoustiques à 160, 320 et 640 m d'une source stable en fréquence, intensité et place. Au total, plus d'une trentaine de variables mesurées ou calculées, décrivant plus de 120 individus intégrant chacun 10min. d'expérimentation.

Les premiers résultats montrèrent l'importance d'un point de vue acoustique que peuvent prendre ces phénomènes : des variations allant jusqu'à 17 dBA à 320m et 23 dBA à 640m, ont pu ainsi être observées sur des périodes de seulement 2 heures. Même les intégrations sur longue période (8h) ont montré des écarts de 8dBA à 320m et 19dBA à 640m, justifiés par des conditions météorologiques opposées. De plus, la dispersion des mesures acoustiques fut nettement croissante avec la distance (jusqu'à 38 dBA entre deux échantillons de 10min à 640m), et plus forte à 1,5m du sol qu'à 6m.

Un ensemble d'analyses statistiques des données expérimentales recueillies, a permis de synthétiser l'ensemble des influences météorologiques observées, par une grille à double entrée, fournissant une estimation qualitative de la propagation sonore associée à la situation météo décrite [4].

-III- APPROCHE PAR LA LOGIQUE FLOUE

-III-1 : Pourquoi la logique floue ?

Rappelons ici que cette recherche vise à fournir à l'acousticien de terrain, les méthodes et les moyens de mieux appréhender ses mesures à grande distance d'une source.

Pour ceci, on s'appuie d'une part sur la connaissance expérimentale décrite précédemment, et d'autre part sur la seule information météorologique dont l'opérateur dispose au moment de la mesure : son appréciation "au jugé" de la situation atmosphérique.

Incertitude - imprécision :

Il convient de justifier et de distinguer les emplois des notions d'imprécision et d'incertitude.

La connaissance que l'on peut avoir de l'état de l'atmosphère est schématiquement de deux ordres :

- Dans le cadre expérimental, elle est issue de capteurs physiques, placés à différentes hauteurs d'un mât, et est donc précise. Par contre, on peut s'interroger sur la représentativité spatiale de telles mesures précises. En effet, il n'est pas rare que deux mâts météo placés en deux points différents de l'axe de propagation sonore, accusent des différences non négligeables dans les mesures ; du fait de l'instabilité permanente de l'atmosphère dont il a été question plus haut. Cette faible représentativité peut se traduire par une incertitude quant à l'adéquation d'une valeur précise et locale, à caractériser l'ensemble de la propagation.

- Dans le cadre opérationnel, l'information météorologique est issue de l'appréciation "au jugé" que l'opérateur peut avoir de l'état de l'atmosphère.. Aussi est-elle traduite à travers des modalités linguistiques et donc, est fortement

marquée d'imprécision. Par contre, de par le mode d'appréciation, elle présente un caractère de globalité et peut donc être considérée comme représentative de l'ensemble de la propagation.

Appliquées à l'étude de systèmes complexes, ces deux notions que sont l'incertitude et l'imprécision, apparaissent comme duales. En effet, "l'antagonisme entre imprécision et incertitude s'exprime par le fait que si l'on rend plus précis le contenu d'une proposition, on tend à accroître son incertitude, et inversement" [5].

Puisque l'état atmosphérique connaît des variations chaotiques spatiales, cette approche cherche donc à extrapoler des valeurs numériques "trop" précises, pour gagner en représentativité spatiale et rendre cette connaissance expérimentale compatible avec le cadre opérationnel qui n'opère qu'à travers des modalités linguistiques imprécises, mais leur confère un caractère de globalité.

Les modalités linguistiques

Les ensembles flous sont principalement utilisés pour pallier aux limites d'un codage traditionnel dans le cadre de l'utilisation de propositions "vagues", c'est à dire dont les contours de l'information qu'elles décrivent ne sont pas clairement définis. Le codage flou ne les rend pas pour autant objectives et claires, et si il permet de réduire les conséquences de l'arbitraire du codage, il ne l'élimine en aucun cas. En effet, on peut imaginer, pour une proposition vague donnée, une infinité de codages possibles. Par exemple, l'ensemble des codages de la modalités "vieux" est probablement borné, d'une part par celui que donnerait un adolescent, et d'autre part par celui que donnerait un retraité.

On conçoit dès lors que cet aspect arbitraire soit à réduire au maximum, et que surtout on confère à la base de modalités linguistiques un degré de cohérence suffisant. En d'autres termes : qu'est-ce qu'un opérateur appelle "un vent portant" ou "un ensoleillement fort" ?

La méthodologie visant à déterminer le codage de ces modalités linguistiques fait un compromis entre l'apprentissage de l'opérateur et un apprentissage sur l'appréciation de l'opérateur.

Ce dernier peut s'effectuer de façon statistique sur un échantillon d'opérateurs, auxquels on demande de caractériser par un ensemble net, une modalité vague particulière. Pour peu que les réponses obtenues présentent un minimum de cohérence, on en déduit l'ensemble flou correspondant au codage de la modalité linguistique en question (cf [6]).

Pour l'heure, cet apprentissage n'a pas encore été réalisé et la définition des modalités floues a été effectuée en collaboration avec des spécialistes de la micro-météorologie, tout en essayant malgré tout d'y intégrer l'aspect subjectif de la perception au jugé.

Par exemple, on a représenté figure 3, le codage flou de la variable "direction du vent" (il s'agit en fait de l'angle entre la direction et l'axe de propagation source-récepteur).

On pourrait s'étonner que certaines valeurs précises du référentiel $\Omega=[0;180]$, n'aient aucune appartenance totale à une modalité linguistique. Cependant, on conçoit, au moins pour l'instant, que ces valeurs ne s'identifient pas clairement à une modalité linguistique particulière, dans la mesure où l'on a souhaité ne pas surévaluer la qualité de discrimination d'une appréciation "au jugé".

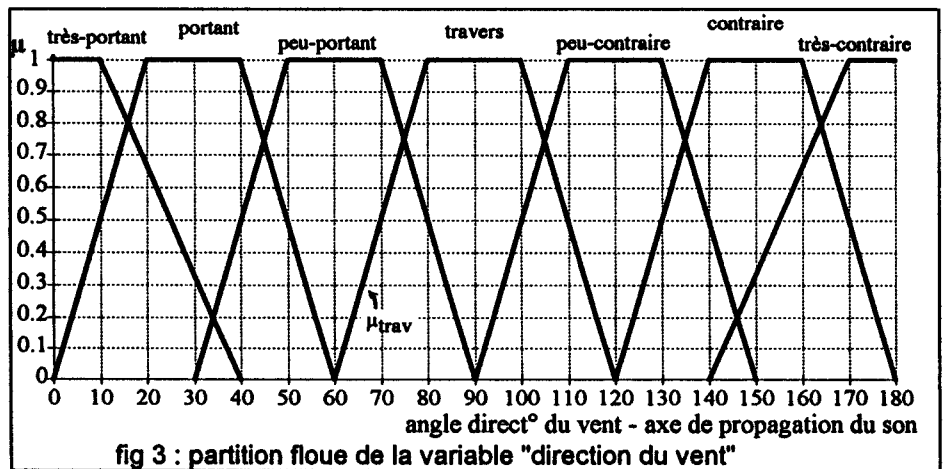


fig 3 : partition floue de la variable "direction du vent"

-III-2 : Création des règles floues

De façon générale, on décrit un système à base de connaissance comme un programme capable de résoudre des problèmes complexes spécifiques à un domaine particulier en utilisant la connaissance experte d'un spécialiste du domaine. Les techniques d'interviews restent les plus employées pour acquérir la connaissance experte humaine, a fortiori lorsqu'elle est de nature qualitative ou descriptive.

Dans notre cas, la connaissance experte se résume à une base de données expérimentales, bien que l'intervention de spécialistes acousticiens ou météorologues soit primordiale. On a donc recours à un algorithme d'apprentissage automatique.

Apprentissage automatique

On recense un bon nombre d'algorithmes permettant l'apprentissage automatique de règles, sur une base de données. Un large descriptif est fourni dans [7]. Parmi ceux-ci, ID3 [8] a déjà été maintes fois utilisé et adapté en vue d'une utilisation sur des données numériques, et plus rarement en génération de règles floues ([9], [10]). L'adaptation proposée ici, permet d'associer à la représentation floue un degré d'incertitude.

L'algorithme ID3 (*Inductive Decision Tree*) vise à exploiter un ensemble d'avis d'experts ou de valeurs numériques en mettant en correspondance plusieurs variables explicatives (attributs) avec une variable expliquée (décision). L'algorithme extrait la connaissance diffuse de cette base et la présente sous la forme d'un arbre de décision où chaque séparation de noeud représente une discrimination des individus du noeud suivant leurs valeurs sur un attribut. En fait, ID3 apparaît comme un algorithme de segmentation suivant le critère de maximisation du gain [11].

Dans [10] on propose de déterminer le gain à partir de la notion d'entropie floue, pour laquelle les calculs de fréquence utilisés dans le cadre probabiliste, sont pondérés par les degrés d'appartenance aux modalités floues :

$$\text{gain}(A_i) = I - E^*(A_i) \quad (1)$$

$$I = \sum_{i=1..m} P^*_{C_i} \text{Log}\left(\frac{1}{P^*_{C_i}}\right) \quad (2)$$

$$P^*_{C_i} = \frac{|C_i|}{n} \quad (3)$$

- A_i : ième attribut (mi modalités floues)
- I : entropie de l'attribut de décision (m modalités floues $C_1 \dots C_m$)
- P^* : probabilité floue
- $|C_i|$: Cardinalité empirique de la modalité C_i
- n : nombre d'individus au noeud courant

Cette entropie floue mesure le "désordre" dans la distribution des échantillons sur la partition floue de la variable de décision. L'entropie floue des attributs $E^*(A_i)$ est nommée *entropie "star"* (4) :

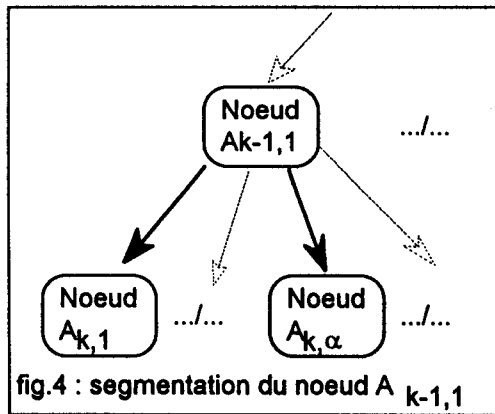
$$(4) E^*(A_i) = \sum_{k=1..m_i} P^*(A_{ik}) \cdot \sum_{j=1..m} P^*(C_j/A_{ik}) \cdot \text{Log}\left(\frac{1}{P^*(C_j/A_{ik})}\right)$$

avec : $P^*(C_j/A_{ik}) = \frac{P^*(C_j, A_{ik})}{P^*(A_{ik})}$

$P^*(C_j, A_{ik})$: moyenne des produits des appartenances à C_j et A_{ik}

Le noeud courant est segmenté sur les modalités floues de l'attribut A_i vérifiant le maximum de gain donc de l'attribut dont l'entropie star est minimale.

L'adaptation d'ID3 que l'on souhaite effectuer, doit permettre à chaque individu de la base d'apprentissage d'intervenir dans toutes les branches de l'arborescence, mais de façon proportionnelle à son appartenance à la branche.



Supposons la k ième segmentation effectuée par l'attribut A_k (m_k modalités) (cf fig. 4)

Soit $\mu_{NA_i}(x)$ l'appartenance de l'individu x au noeud A_i
Suite à cette nouvelle segmentation, on peut considérer que x vérifie les propriétés du noeud $A_{k,\alpha}$ ($\alpha \in [1, m_k]$) au niveau :

$$\mu_{NA_{k,\alpha}}(x) = \text{Min} \{ \mu_{NA_{k-1,1}}(x) ; \mu_{A_{k,\alpha}}(x) \} \quad (5)$$

ou $\mu_{A_{k,\alpha}}(x)$ est le niveau d'appartenance de x à la modalité floue $A_{k,\alpha}$.
Les individus ne sont donc pas ré-attribués au noeud fils pour lequel leur appartenance est la plus forte, mais à chacun d'eux avec une appartenance variable.

Ainsi, dans (3), n correspond à la somme des appartenances résiduelles des individus, au noeud courant, ce que l'on peut interpréter comme la taille de l'échantillon courant.

La segmentation d'un noeud est refusée lorsque les entropies stars des attributs n'intervenant pas dans les segmentations "amont", sont toutes supérieures à celles des autres attributs, ou bien lorsqu'elles sont toutes supérieures à l'entropie de décision.

Tout comme ID3, une branche de l'arborescence donne la prémisse d'une règle floue : "Si .../... et $(A_{k-1,1})$ et $(A_{k,\alpha})$ et ..." et la distribution obtenue sur l'attribut de décision, la conclusion : "Alors la variable décision est C_i " (floue) avec l'incertitude $1 - P^*(C_i)$.

Analyse de la conclusion

Si la variable conclusion de la règle (i.e. variable décision) est de nature météorologique, la règle est utilisée pour guider l'opérateur dans le choix de ses observations afin de garantir un minimum de cohérence : Si le ciel est "couvert", Alors l'ensoleillement est "très fort" avec une incertitude de 0,9 (i.e. il est très peu probable que l'ensoleillement soit très fort).

La figure 5 présente un extrait de l'arborescence obtenue sur la variable décision "ensoleillement" = { nuit ; rasant ; très faible ; moyen ; fort }

Au noeud A, aucun attribut ne permet de mieux discriminer les individus sur les modalités de la variable "ensoleillement".

La distribution des $P^*(C_i)$ est $P^*(nuit)=0$ $P^*(rasant)=1$ $P^*(très\ faible)=0.118$; $P^*(moyen)=0$ $P^*(fort)=0$.
La règle la moins incertaine que l'on peut déduire est donc Si le soleil est "Aube" Alors l'ensoleillement est "rasant" ($i = 0$)

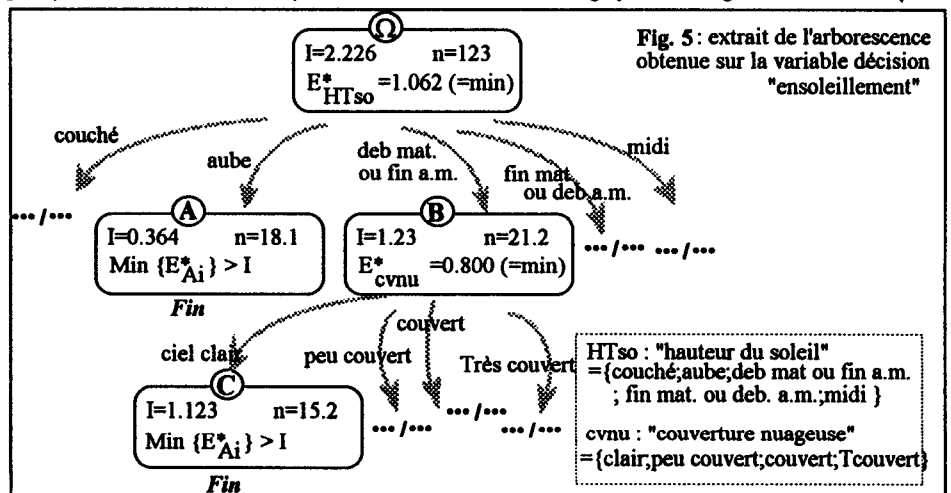


Fig. 5 : extrait de l'arborescence obtenue sur la variable décision "ensoleillement"

Au noeud B , l'attribut "couverture nuageuse" est sélectionné pour segmenter les 21,2 individus. Au noeud C , la segmentation est stoppée. La distribution des P*(Ci) est alors :

$$P^*(\text{nuit})=0 \quad P^*(\text{rasant})=0.269 \quad P^*(\text{très faible})=0.885 \quad P^*(\text{moyen})=0.192 \quad P^*(\text{fort})=0.$$

Ce qui génère les règles :

Si le soleil est "début matinée ou fin après midi " ET le ciel est "clair "

Alors l'ensoleillement est "nuit" (i= 1)

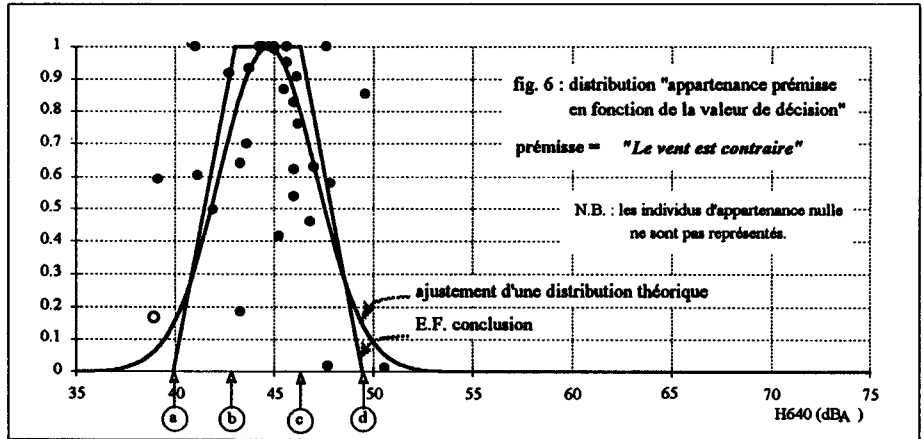
"rasant" (i=0.73)

"très faible" (i=0.115) etc ...

Dans le cas où la variable décision est de nature acoustique, on ne dispose pas , au moins pour l'instant, de modalités linguistiques d'appréciation. On est donc amené à un noeud terminal à agréger les conclusions sur la variable décision , en une seule modalité floue , sans interprétation linguistique , mais qui traduit une imprécision dans le résultat acoustique estimé.

Lors de l'analyse d'un noeud terminal, on considère la distribution des individus sur l'ensemble du référentiel continu de la variable décision. Chaque individu est pondéré par son appartenance résiduelle au noeud, ce qui permet d'ajuster une distribution théorique à la distribution empirique observée. L'ensemble flou conclusion est ensuite déduit de cette distribution théorique.

Sur la figure 6 , on a représenté une distribution des individus sur la variable décision H640 : "niveau sonore à 640m " au noeud (supposé terminal) "le vent est contraire " (cf fig3). L'individu noté O correspond au niveau 0.18 à l'appellation "le vent est contraire" , présente une valeur sur la variable H640 de 39.2dB_A . L'appartenance 0.18 fait office de pondération de la valeur 39.2. L'ensemble flou conclusion de la règle Si le vent est "contraire" Alors H640 ≈... est déduit de l'ajustement de la distribution théorique.



La pratique montre que cette méthode systématique, même si elle est contestable pour bien des noeuds terminaux (manques d'individus) , présente l'avantage de fournir une incertitude constante sur toutes les conclusions (≈ 0.1) ; ce qui permet de s'affranchir du traitement de l'incertitude attachée à une règle lors de l'inférence.

-III-3 : Mise en place d'un moteur d'inférence [5],[12]

En généralisant la logique classique, la logique floue permet d'exprimer des liens de cause à effet d'un ensemble de caractéristiques vagues (l'appréciation au jugé des conditions météo) vers un autre (le type de propagation sonore) .

Ainsi, lorsque l'imprécision d'une proposition ne satisfait qu'imparfaitement la prémisse d'une règle elle aussi imprécise, l'inférence floue par Modus Ponens Généralisé permet d'en déduire une proposition imparfaitement identique à la conclusion de la règle :

règle :	Si X est A	Alors Y est B
observation	X est A' (=environ A)	
déduction	Y est B' (=environ B)	

On représente le lien causal de X sur Y par une distribution de possibilité conditionnelle π_{B/A} qui restreint les valeurs possibles de Y sachant celles de X , en fonction des distributions π_A de la prémisse et π_B de la conclusion.

La proposition B' déduite est une combinaison des distributions de possibilité π_{A'} (fait observé) et π_{B/A} (modélisation du lien causal de X sur Y) .

En définitive, la fonction d'appartenance B' est obtenue par : [12]

$$\forall y \in \Omega_Y \quad \mu_{B'}(y) = \sup_{x \in \Omega_X} (T(\pi_{A'}(x); \pi_{B/A}(y,x))) \quad (6)$$

où T est une norme triangulaire permettant la combinaison. La représentation du lien causal de X sur Y n'est pas unique, et est fonction de l'implication logique que l'on souhaite généraliser. De même, il existe plusieurs normes triangulaires T envisageables.

La modélisation présentée ici, utilise l'implication floue de Lukasiewicz :

$$\forall x,y \in \Omega_Y \times \Omega_Y \quad \mu_{B/A}(y,x) = \min (1 - \pi_A(x) + \pi_B(y); 1) \quad (7)$$

et la norme du même nom : $\forall x,y \in \Omega^2 \quad T(x,y) = \max (0, x + y - 1) \quad (8)$

Ainsi, (6) s'écrit : $\forall y \in \Omega_Y \quad \mu_{B'}(y) = \sup_{x \in \Omega_X} (\text{Max}(0; \pi_A(x) + \text{Min}(1 - \pi_A(x) + \pi_B(y); 1) - 1)) \quad (9)$

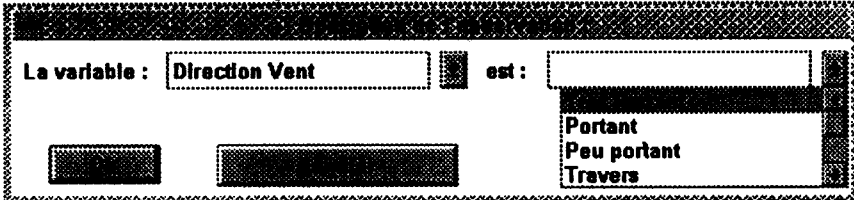
A une distribution B', sont associés un degré d'incertitude qui est fonction de la similitude de A' à A et une imprécision plus grande qu'à μ_B pour "compenser" cette incertitude. L'incertitude fournit donc une indication sur la qualité de l'inférence.

Enfin, l'agrégation des B'i obtenus par inférence sur les règles Ri : "Si X est Ai alors Y est Bi" fournit, sauf incohérence dans la base de règles, la distribution π déduite de l'observation A'.

Une validation des résultats d'inférences, par les échantillons expérimentaux, est présentée dans [13].

Exemple d'inférence

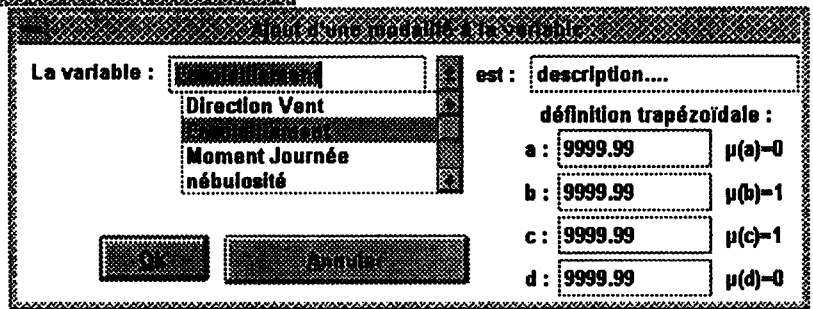
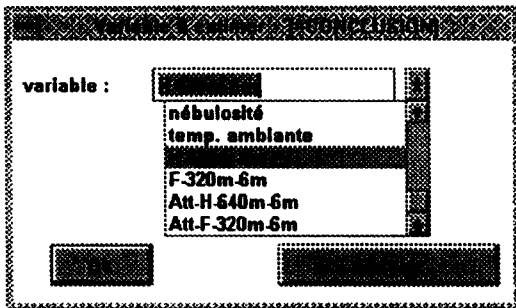
Le système présenté permet à l'opérateur de sélectionner le fichier de règles floues à utiliser, d'en modifier son contenu, et d'en sauvegarder les modifications.



L'opérateur est invité à traduire son appréciation de l'atmosphère au moment de la mesure acoustique, au travers des modalités linguistiques de son choix, parmi celles contenues dans le fichier sélectionné,

ou au travers de nouvelles distributions de possibilité trapézoïdales avec ou sans interprétations linguistiques :

Puis à choisir la variable qu'il cherche à estimer :



A l'issue de l'inférence, l'opérateur dispose d'une part, d'un fichier texte dans lequel sont indiqués les règles déclenchées et le déroulement de l'agrégation des conclusions, et d'autre part d'une sortie graphique, modulable, qui traduit en termes d'imprécision, l'incertitude quant à la valeur que peut prendre la variable estimée, au vu de la description imprécise de l'atmosphère. : (cf fig. 7)

En outre, l'opérateur peut disposer d'une information de type probabiliste, déduite de la conclusion possibiliste. (fig.7)

N.B. :

Formellement, la conversion "possibiliste vers probabiliste" doit suivre le principe dit "de la raison insuffisante" [14],[15] qui suppose que l'incertitude concernant un élément x du référentiel suit récursivement des distributions de probabilité uniformes sur des α -coupes :

$$p(x) = \sum_{i=1..n} \frac{\alpha_i - \alpha_{i+1}}{|A_{\alpha_i}|} \times \mu_{A_{\alpha_i}}(x) \quad (10)$$

Dans notre cas, on suppose que cette distribution est plutôt gaussienne, dans la mesure où l'incertitude quant au résultat attendu devrait décrire une variation permanente autour d'une valeur moyenne.

Remarque : Bien que les phénomènes physiques considérés peuvent induire des distributions acoustiques dissymétriques, celles-ci ne sont que rarement en accord avec les dissymétries des distributions possibilistes de conclusion. Aussi, l'usage des coefficients de Fischer ou Pearson dans l'ajustement probabiliste, a été abandonné.

Enfin, il est à noter que, conformément à la logique floue et à la théorie des possibilités, l'information issue d'une telle inférence décrit par l'imprécision, l'incertitude d'une variable acoustique, due, non pas à la variation dans le temps des paramètres micro-météorologiques mais bien à leurs variations spatiales et à leur description imprécise.

Néanmoins, Il est intéressant d'un point de vue acoustique de bénéficier de l'information contenue dans une collection de règles floues, pour estimer les effets sonores de variations météorologiques dans le temps.

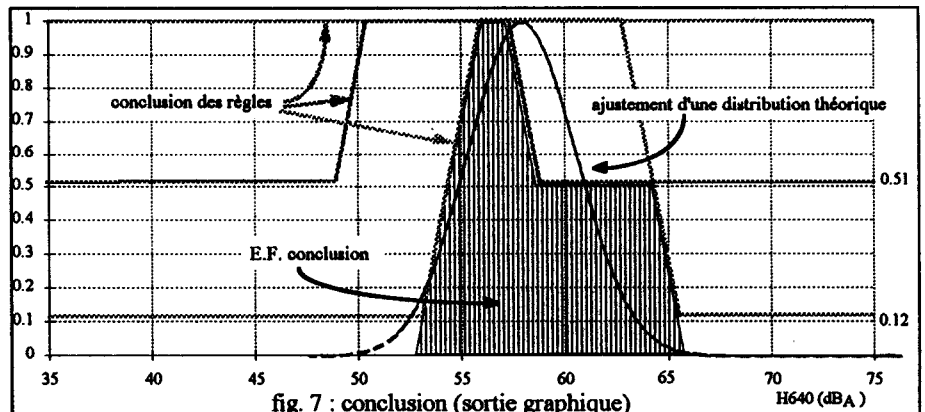


fig. 7 : conclusion (sortie graphique)

-III-4 : Evaluation à long terme :

Une distribution de possibilité sur une variable météorologique ne traduit en aucun cas, les variations de la valeur qu'elle prend successivement, dans un certain laps de temps [5]. Dans notre application, elle décrit l'espace dans lequel se trouve la valeur représentative de la période. En fait, on choisit de décrire par l'imprécision, l'incertitude que l'on a quant à la localisation précise de cette valeur.

C'est donc au travers d'une statistique probabiliste que l'on décrit les variations temporelles des conditions météorologiques du site ou de la région du site, par exemple par l'intermédiaire des fichiers des stations locales de *Météo-France*. Deux méthodes sont disponibles pour exploiter la collection de règles floues à partir d'une statistique probabiliste.

Par inférences élémentaires successives

On définit un ensemble flou élémentaire trapézoïdale $\mu_{elem}=(a,b,c,d) \in \Omega^4$ de largeur fixe mais qui, par translations successives va décrire Ω . A chaque itération, on détermine sa probabilité d'avènement par :

$$(11) \quad P'(elem) = \int_{\Omega} \mu_{elem}(x) \cdot p(x) \delta x \quad \text{où } p \text{ est la statistique météo probabiliste.}$$

L'ensemble flou conclusion obtenu par inférence de la modalité élémentaire sur la collection de règles floues, est pondéré par la probabilité d'avènement $P'(elem)$.

Enfin, l'agrégation de toutes les conclusions suivant les pondérations probabilistes, fournit une statistique à long terme d'une variable acoustique (ou micro-météorologique non appréciable).

Par pondération des prémisses

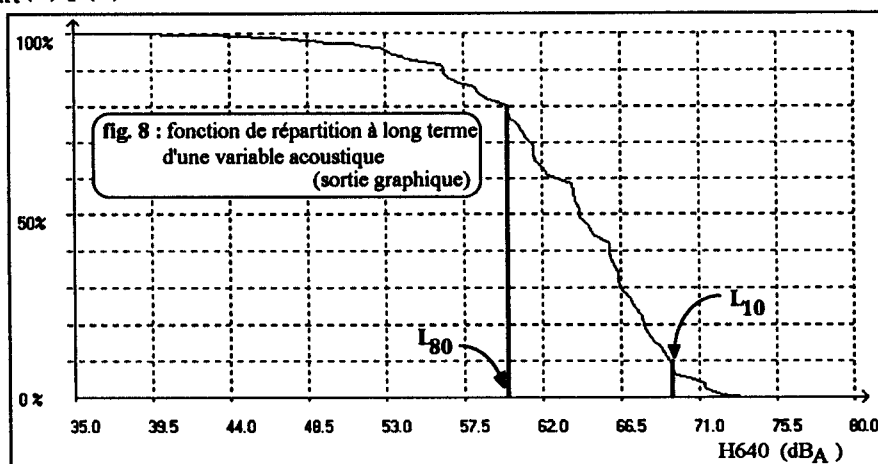
Cette seconde méthode, plus rapide d'exécution que la précédente, consiste à agréger toutes les conclusions des règles compatibles avec les variables décrites par la statistique probabiliste, en les pondérant par la probabilité d'avènement de leur prémisses.

Par exemple, la conclusion de la règle "Si le vent est "portant" Alors ..." est pondérée par

$$(12) \quad P'(\text{vent} = \text{"portant"}) = \int_{[0..180]} \mu_{portant}(x) \cdot p(x) \delta x \quad \text{puis est agrégée aux autres conclusions.}$$

Cette statistique est utilisée sous la forme d'une fonction de répartition complémentaire (présentation très répandue en acoustique), bien que, formellement, elle ne soit pas de nature purement probabiliste. (cf fig.8)

Ces deux méthodes n'ont pas montré de différences significatives sur les résultats qu'elles fournissent.



-IV- CONCLUSION

Les influences des conditions météorologiques sur la propagation du son, si elles sont relativement bien connues dans leur description ou leur formulation, font intervenir énormément de fluctuations aléatoires du fait de la permanente instabilité de l'atmosphère.

De plus, d'un point de vue opérationnel, on n'est rarement en mesure de fournir une description précise de l'atmosphère.

Les ensembles flous sont utilisés ici pour traduire l'appréciation qu'a l'opérateur de la situation micro-météorologique.

Une base de règles floues a été dégagée d'un ensemble de données expérimentales et permet de traduire en termes accessibles et compatibles avec l'opérateur, les relations de causes à effet entre l'état de l'atmosphère et le type de propagation sonore.

L'information acoustique obtenue est destinée à aider l'acousticien de terrain à mieux appréhender ses mesures de bruit à grande distance d'une source.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] : I. RUDNIK : "Propagation of sound in the open air"
In : "Handbook of noise control" (Chap 3) Mac Graw Hill Ed .
- [2] : V. ZOUBOFF : "Etude préliminaire sur l'influence des conditions météorologiques sur la propagation du bruit"
Rapports FAER1.50.06.4 et 1.65.23.4 du Laboratoire Régional des P&C d'Angers - 1985
- [3] : M. BERENGIER, G. DAIGLE, A. BERRY : "Etude du champ acoustique en présence d'une discontinuité d'impédance et d'un effet de gradient de vitesse du son"
Rapport de recherche n°155 Laboratoire Central des Ponts et Chaussées - 1989
- [4] : V. ZOUBOFF, Y. BRUNET, E. SECHET; J. BERTRAND, "Méthode qualitative d'estimation de l'influence de la météorologie sur le bruit" - 3ème congrès français d'acoustique Toulouse 2-6 Mai 1994
- [5] : D. DUBOIS & H. PRADE : "Théorie des possibilités - Applications à la représentation des connaissances en informatique" ; Collection Méthodes & Programmes - Masson 1985
- [6] : D. DUBOIS, H. PRADE : "Fuzzy sets and statistical data"
European Journal of operational research 25 (1986) 345-356
- [7] : Y. KODRATOFF, V. MOUSTAKIS , N. GRANER : "Can Machine Learning solve my problem ?"
Applied Artificial Intelligence - Vol 8 n°1 1994
- [8] : J.R. QUILAN : "Induction of Decision Trees"
In : Machine Learning - Vol 1 1986 pp 81 à 106
- [9] : R. WEBER : "Fuzzy-ID3 : A class of methods for automatic Knowledge acquisition"
Proceedings of the 2nd International Conference on fuzzy logic & neural network; (Iizuka, Japan, July 1992, pp265-268
- [10] : M. RAMDANI : "Description Numérique symbolique en apprentissage"
Compte rendu des journées des applications des ensembles flous de Nîmes 92 - p259,265
- [11] : M. HUGUES : "Segmentation et typologie" ; Collection Management - Bordas 1970
- [12] : L.A. ZADEH : "Fuzzy Sets as a basis for a theory of possibility"
In : Fuzzy sets and systems , 1 , 193-218, 1978
- [13] : E. SECHET : "Evaluation des influences météorologiques sur la propagation du son : une approche par la logique floue" ; Actes des Journées des Sciences de l'Ingénieur ;pp 431-437 vol 1 ; Giens , Octobre 1994.
- [14] : S. SANDRI : "La combinaison de l'information incertaine et ses aspects algorithmiques"
Thèse de doctorat - Université Paul Sabatier - Institut de Recherche en Informatique de Toulouse - 1991
- [15] : S. SANDRI, D. DUBOIS, H. PRADE : "On possibility / probability transformations"
Rapport de recherche - Institut de Recherche en Informatique de Toulouse

LISTE DES FIGURES

- fig. 1 : tracé de rayons acoustiques en gradient négatif
fig. 2 : tracé de rayons acoustiques en gradient positif
fig. 3 : partition floue de la variable "direction du vent"
fig. 4 : segmentation d'un noeud dans C_ID3
fig. 5 : extrait d'une arborescence
fig. 6 : distribution empirique des valeurs d'une variable décision
fig. 7 : conclusion d'une inférence (sortie graphique)
fig. 8 : statistique à long terme d'une variable acoustique.
-