

centre de recherche sur l'espace sonore
et l'environnement urbain



CRESSON

Unité Mixte de
Recherche
1563
"Ambiances
Architecturales
& Urbaines"

Quel rôle les mesures physiques peuvent-elles jouer dans la compréhension des ambiances architecturales et urbaines ?

Jean-Jacques Delétré - 2004



d'
de **école nationale
supérieure
d'architecture
de grenoble**

Jean-Jacques Delétré Ingénieur ENSAM, acousticien, éclairagiste, ex professeur ENSAG, membre honoraire du Laboratoire Cresson, UMR 1563 Ambiances architecturales et urbaines à l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble

Pour citer ce document :

Delétré, Jean-Jacques. Quel rôle les mesures physiques peuvent-elles jouer dans la compréhension des ambiances architecturales et urbaines ? publié dans sa version définitive sous le titre : Peut-on remettre la mesure physique en situation? In : Amphoux, Pascal ; Chelkoff, Grégoire ; Thibaud, Jean-Paul (eds). Ambiances en débats. Grenoble (Bernin): Editions A la Croisée, 2004. 185-207 p.

CRESSON

ENSA Grenoble
60 Avenue de
Constantine
B. P. 2636 - F 38036
GRENOBLE Cedex 2
tél + 33 (0) 4 76 69 83 36
fax + 33 (0) 4 76 69 83 73
cresson@grenoble.archi.fr
www.cresson.archi.fr

Pour consulter le catalogue du centre de documentation : http://doc.cresson.grenoble.archi.fr/pmb/opac_css/

Dernière mise à jour : 2008

**QUEL RÔLE LES MESURES PHYSIQUES PEUVENT-ELLES JOUER
DANS LA COMPRÉHENSION DES AMBIANCES ARCHITECTURALES ET
URBAINES ?
J.J. Delétré**

*Mon Dieu, je sais que je mesure, mais je voudrais bien savoir ce que je mesure ;
Saint Augustin¹
Mesure tout ce qui est mesurable, et rend mesurable tout ce qui ne l'est pas
G. Galilée²*

La question posée ici se situe bien en aval des réflexions menées actuellement au sein de l'équipe CRESSON, car si on effectue des mesures, c'est qu'on a repéré (ou qu'on suppose qu'il existe) une ou des ambiances remarquables. La mesure vient alors en renfort d'une constatation (ou d'une intuition), pour tenter de faire apparaître des phénomènes physiques dont on suppose qu'ils seront représentatifs de l'ambiance existante.

La physique (et la métrologie) a développé depuis de nombreuses années des outils spécifiques permettant de caractériser et de "maîtriser" les ambiances. Ces outils sont pour la plupart le résultat de travaux qui ont eu lieu à la fin du XIXe siècle, ou au début du XXe. Ils ont donné des preuves de leur pertinence, et ont satisfait durant de longues années les techniciens et les praticiens. Cependant, de plus en plus de ces utilisateurs (et applicateurs) d'outils se trouvent confrontés à des problèmes de décalage entre des résultats satisfaisants (du strict point de vue physique, mesures à l'appui) et des insatisfactions usagères.

La question de la mesure dans l'environnement humain est donc de plus en plus à l'ordre du jour, les références scientifiques sur ce sujet sont nombreuses, dans des domaines d'application très variés, permettant d'utiliser des exemples diversifiés.

Mais, d'abord, un peu de prospective, imaginons des espaces construits truffés de capteurs de toutes sortes, qui relèvent, analysent et stockent les informations en permanence. Couplons ces capteurs à des logiciels experts, et nous pourrions savoir en permanence si les caractères physiques d'un lieu créent une ambiance de type : "soirée d'automne, après la pluie, musique de blues en fond sonore, odeur de beignet trop gras, sol glissant, petit brouillard léger, site urbain semi ouvert..." cette ambiance étant repérée et classée dans le :

"Répertoire des ambiances architecturales et urbaines, CRESSON, Grenoble, Tharempèse, 2018, 1687 p" sous la référence "YGK 621" (p 837).

Les capteurs et le système informatique ont fait leur travail, répertorié correctement l'ambiance, mais si personne ne s'est aperçu que cette ambiance "YGK 621" a eu lieu, a-t-elle vraiment eu lieu ? Cette question est complexe, laissons nos collègues de sciences humaines s'en occuper, et attachons nous seulement à la partie quantifiable des ambiances.

Empruntons à P. de BREM cette petite introduction³ⁱ :

¹ Saint Augustin : *Confessions*, livre XI, chap 14 ; Paris, Pierre Horray et cie, 1947

² Galilée G. : *Discours et démonstrations mathématiques concernant deux nouvelles sciences*. Paris, PUF, 1995 (1^{ère} édition 1638)

³ *La mesure*, actes du colloque des 7^e entretiens de La Villette, Paris, CNDP, 1995, p 249/250

"Dans la navette spatiale américaine, il faut s'assurer que le taux d'oxygène est toujours convenable à l'intérieur de la cabine des astronautes. Pour ce faire, la NASA a installé des capteurs d'oxygène reliés à un ordinateur. Ce dernier peut actionner une vanne à oxygène en la fermant ou en l'ouvrant selon les besoins. Comme une panne peut toujours se produire, la NASA a décidé d'installer un second ordinateur, également relié à ces capteurs, et pouvant également actionner les vannes. Un problème supplémentaire est alors apparu : et si par hasard l'un des ordinateurs donnait des mesures fantaisistes, comment savoir lequel aurait raison et lequel aurait tort ? C'est pourquoi la NASA a fait installer un troisième ordinateur chargé de mettre les deux autres d'accord ! Cette histoire est vraie.

Un système aussi sophistiqué n'est pas très pratique. Il l'est en tout cas beaucoup moins que celui utilisé par les Russes à bord du vaisseau Soyouz qui emporte les cosmonautes vers la station Mir. Tout simplement, l'instrument de mesure du taux d'oxygène, c'est l'homme. Quand ils commencent à suffoquer, les cosmonautes ouvrent le robinet d'oxygène."

On perçoit bien la complexité du système américain (basé sur des séries de mesures effectuées en parallèle) et la relative « négligence » du système russe. Dans les deux cas, seul le résultat compte : garantir une oxygénation suffisante des personnes enfermées dans leur capsule spatiale. Mais ce système suppose aussi que le personnel soit bien informé, car les Russes savent qu'ils ont à veiller à cette oxygénation, tandis que les Américains seraient fort surpris d'avoir à agir sur ce paramètre.

Enfin, venons-en à la mesure elle-même qui suppose toujours 4 phases

- La définition de l'objet de la mesure
- La mesure elle-même (sa pratique)
- Les unités de la mesure (son référent)
- Enfin l'exploitation de la mesure

1) LES UNITÉS, leur importance pour l'exploitation de la mesure :

1.1 Bref rappel historique

La Révolution française dans sa volonté d'universalité a très vite songé à unifier les différents systèmes de mesure utilisés en France⁴, et dès 1791 sont lancées les opérations de mesure du méridien terrestre dont le mètre sera la 1/40 000 000^e partie (le 1/4 de la 10 millionième partie du méridien ! déjà la volonté décimale)

En 1795 la devise du système métrique est adoptée : "à tous les temps et tous les peuples" et enfin en 1799 les deux premiers "étalons de mesure" sont créés : le mètre et le kilogramme (abolis par Napoléon, puis rétablis par Louis-Philippe)

Cependant ce n'est qu'en 1837 que le système métrique sera véritablement adopté en France, et en 1875 au niveau international.

De cette époque reste la forte hégémonie du système décimal, même dans des domaines où une autre base serait peut-être plus pratique, par exemple :

Le logarithme à base 10 en acoustique (alors que le log à base 2 se justifierait tout autant, voire parfois serait plus justifié)

Les étalons de température (entre la glace fondante et l'eau bouillante), et la subdivision de cet intervalle en 100, alors que d'un point de vue physiologique une échelle non linéaire se justifierait plutôt (en tout cas dans la zone "humaine" : de -30 à +40 °C par exemple)

Actuellement les unités fondamentales sont au nombre de 7 (système SI ou MKSA)

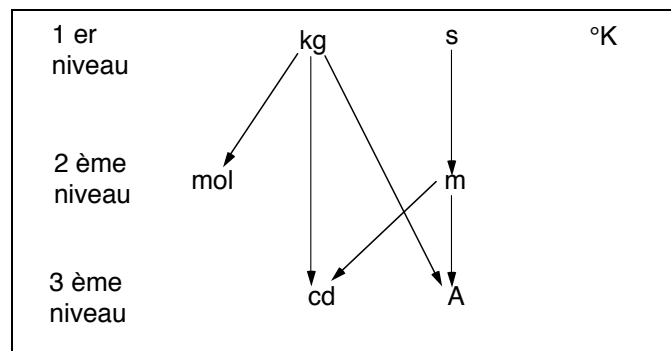
- Mètre m
- Kilogramme kg

⁴ Dès 1790 avec Talleyrand qui songe à unifier les différents systèmes de mesure existant en France

- Seconde	s
- Ampère	A
- Degré Kelvin	K
- Candela	cd
- Mole	mol

dont trois seulement sont indépendantes (définies sans référence aux autres), et dont l'une n'est pas reproductible (kg)⁵. Cette non reproductibilité pose un réel problème aux physiciens, d'autant que le kg sert à définir 3 autres unités. Si la définition du kg se base, à terme, sur $E=mc^2$, c'est alors la seconde qui deviendra la base de toutes les unités (sauf le K)⁶.

Le schéma ci-dessous donne les relations actuelles liant ces différentes unités,



1.2) Dès que les unités sont créées, la référence a parfois tendance à se substituer à la mesure.

Nous n'avons alors plus affaire à des faits, mais à des faits projetés sur un axe privilégié (en général celui de leur unité).

Les faits deviennent alors commensurables (métriques) d'un point de vue, mais d'un point de vue seulement, les autres points de vue pouvant parfois échapper à la mesure "traditionnelle".

Exemple :

- *Le rideau d'arbres au bord de l'autoroute ne change pas le niveau acoustique reçu en façade des bâtiments (en tout cas pas celui provenant des véhicules). Pourtant les riverains en sont généralement satisfaits !*

- *L'analyse factorielle, en projetant sur un plan de lecture privilégié, illustre aussi souvent ce paradoxe. Il faudrait à chaque fois lire les réserves d'usage sur ces diagrammes (validité de la projection, $\cos^2, \dots$). Qui prend la précaution de le faire ?*

- *Dans la vie de tous les jours, les exemples abondent : qui connaît le mode de calcul du Dow Jones (mesuré en moyenne arithmétique sur les 30 premières valeurs des USA) et du CAC 40 (40 valeurs en moyenne arithmétique pondérée), ou de l'indice des prix à la consommation ? Pourtant ces valeurs influencent quotidiennement (de près ou de loin) notre vie. Elles font partie du consensus social, elle sont explicites, mais pourtant obscures. Souvent, pour*

⁵ depuis 1889 : masse d'un cylindre étalon de platine iridié déposé au pavillon de Breteuil (hauteur de 39 mm et diamètre 39 mm). Cet étalon est actuellement le seul qui subsiste sous forme matérielle simple, il est disposé sous des cloches à vide et manipulé avec d'extrême précautions. Sa localisation est invariante compte tenu de la variation de "g" avec la position géographique. Il est de plus en plus question de le remplacer par un étalon plus reproductible :

- soit un nombre d'atomes arrangés d'une certaine façon (silicium)
- soit utiliser l'équivalence $E=mc^2$

l'une de ces pistes sera utilisée lorsque sa précision dépassera 10^{-8} .

⁶ Les horloges actuelles sont précises à 10^{-15} s près, ce qui va bientôt nécessiter une nouvelle définition de la seconde.

l'usage que l'on en a, notre propre représentation suffit. Mais qu'il advienne que l'on soit confronté de plus près à ces données, et notre incompetence apparaît, nous sommes à la merci des "mesureurs".

1.3) Parlons plus spécialement des outils qui nous concernent dans l'étude de l'environnement construit.

Les exemples ci-dessous illustreront la difficulté d'obtenir un consensus autour d'une définition, ainsi que la nécessaire évolution de cette définition.

La Candela (cd) : Cette unité doit particulièrement attirer notre attention. En effet c'est la seule unité du système SI qui fait référence à l'homme (même si sa définition reste très physique⁷) par le biais de la fréquence $540 \cdot 10^{12}$ Hz (soit une longueur d'onde de $0,555 \mu$). Cette longueur d'onde est celle de la sensibilité maximale d'un œil statistique moyen d'un sujet jeune et en bonne santé des civilisations occidentales tel qu'il a été codifié par la CIE en 1924.

Cette unité est très représentative d'une volonté de l'époque de tout "calculer et mesurer". En effet, à la suite de cette définition, on peut construire la photométrie, sorte de "pseudo-physique" parfaitement rigoureuse, si on oublie la « tare originelle » : l'œil humain. Cette unité est d'ailleurs complexe à définir (dans le système SI) car elle se base historiquement sur la définition du Lux (éclairage d'une bougie à 1m), et de cette définition peu rigoureuse résulte la valeur $1/683^\circ$ de W/sr.

Le décibel (dB) : ce n'est qu'en 1927 que les scientifiques s'accordent sur la définition du Bell, (puis en 1930 sur celle du Hertz) et la bataille a été difficile entre les partisans du log décimal et ceux du log népérien. Il s'agit du rapport de deux valeurs (nombre sans dimension) dont on prend le log à base 10. Ce n'est donc pas une unité, et toutes les valeurs peuvent s'exprimer en décibels : pourquoi ne pas exprimer de grandes variations au moyen de cet outil, par exemple les distances astronomiques, ou les ères géologiques ?⁸

Les décibels « globaux » qui permettent avec un seul chiffre d'exprimer toutes les sensations humaines sont nombreux. Parmi ceux-ci, le décibel « A » (dB(A)) mérite une place à part du fait de sa longévité, et de sa « robustesse ». Il s'impose à la fin des années 1960, mais il n'est qu'un outil commode, ultra-simplificateur, destiné à chiffrer au moyen d'une seule mesure des éléments complexes : la variation de pression sonore et la « façon moyenne » dont l'oreille pondère les fréquences.

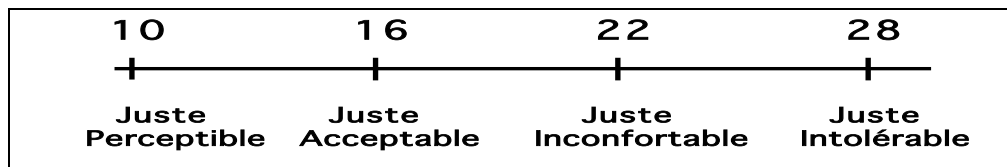
Le nouvel indice européen : le L_{den} , qui voit le jour actuellement (voir annexe), aura-t-il une durée de vie aussi longue ?

L'UGR (Unified Glare Ratio, voir formule de définition en annexe)

Cet outil, introduit dans les normes européennes pour la quantification du confort visuel, permet le chiffrage de l'éblouissement sur une échelle de risque ci-dessous :

⁷ Unité d'intensité lumineuse : la candela (cd), son appellation est la "bougie" jusqu'en 1948. À cette date, le nom change, et la candela devient intensité lumineuse suivant la direction normale de $1/60^\circ$ de cm^2 de corps noir porté à la température de solidification du platine (environ 2045 K). Enfin, en 1979 la définition devient : intensité lumineuse dans une direction donnée d'une source qui émet un rayonnement monochromatique de fréquence $540 \cdot 10^{12}$ Hz et dont l'intensité énergétique dans cette direction est de $1/683^\circ$ de Watt par stéradian (sr).

⁸ En prenant pour base une génération humaine (durée de 25 ans), la révolution française devient alors à 9 dB de notre époque ($10 \log 213/25 = 9,3$), Lucy à 51 dB, et le Big Bang à 98 dB !



L'utilisation de cet outil nécessite un traitement informatique, puisque l'un des paramètres introduit dans la formule tient compte de la position de la source, et que cette position, repérée par exemple avec un objectif fish-eye, doit-être analysée sur une grille numérique. L'UGR est pour l'instant peu utilisé.

Le PMV (predicted mean vote : vote moyen prévisible, défini par O. Fanger⁹) qui donne de façon prévisible l'avis moyen d'un groupe de personnes exprimant un vote de sensation thermique en se référant à une échelle de niveaux (Norme ISO 7730 de 1994).

+3	+2	+1	0	-1	-2	-3
chaud	tiède	légèrement tiède	neutre	légèrement frais	frais	froid

Le détail de cet indice analytique est donné en annexe, et nous laissons au lecteur le soin d'en apprécier la complexité. Il met en jeu un nombre impressionnant de variables, affectées de coefficients de pondération. Cette formule donne cependant parfois des résultats surprenants : deux ambiances radicalement différentes peuvent donner le même résultat.. Le PMV n'est donc défini de façon correcte que pour des situations thermiques pas trop contrastées.

Le décipol (unité non reconnue actuellement, mais qui résulte également des travaux de O. Fanger, menés à partir de 1988) : c'est la pollution de l'air occasionnée par une personne standard ventilée par 10l/s d'air non pollué. La "personne standard" a une surface de peau de 1,8 m², prend 0,7 bain par jour, change de sous vêtements tous les jours... Malheureusement, le "nez standard" n'existe pas, et de nombreux auteurs mettent en cause cette tentative de création de l'unité¹⁰ !

La concentration de polluants (exprimée selon les cas en mg/m³, µg/m³, ou partie par million : ppm). Nous avons ici une autre difficulté, car si les unités sont parfaitement définies, ce sont les procédures de mesurage qui sont floues : méthodes d'échantillonnage statique ou dynamique par exemple¹¹. Il n'existe aucune méthode adoptée de façon normative, ni au niveau national, ni, encore moins, au niveau international. Seul l'indice ATMO, évalué sur une échelle de 1 à 10 (d'excellent à exécration), et calculé sur 3 polluants seulement (oxyde de soufre, oxyde d'azote et ozone) bénéficie en France d'une procédure de mesurage standardisée.

2) LES MESURES ET LEUR PRATIQUE

Les unités étant définies, une mesure nécessite toujours deux "outils" :

- un appareil de mesure, qui pour une grandeur G donnera une variation V,
- un opérateur qui lira V1 ou V2 ou V3... chacun de ces "outils " entraînant des possibilités d'erreurs,

⁹ physiologiste danois, membre de l'International Centre for Indoor Environment and Energy

¹⁰ Balez S. : *Maîtrise des ambiances olfactives par les dispositifs architecturaux*, thèse de doctorat, École polytechnique de Nantes, CRESSON Grenoble, mars 2001

¹¹ voir la thèse de Piscot R. : *Multi-exposition, multi-nuisances en environnement industriel et urbain*. Soutenance prévue mars 2002.

- enfin le milieu dans lequel on effectue la mesure est lui aussi , naturellement, source d'erreurs.

De plus pour chaque mesure il faut :

- adapter l'appareillage à ses besoins (poids, prix, fragilité...),
- adapter la précision à ses besoins (une échelle de mesure précise pour un phénomène vague nuit plus à sa précision qu'elle ne rend service).

Pour répondre à ce deuxième point, l'une des premières questions que se pose l'expérimentateur, consiste le plus souvent à déterminer "l'échelle" à laquelle il désire travailler. Pour cela, son expérience est l'élément déterminant de la définition de cette échelle. Après les premières mesures, il lui faudra parfois ré-évaluer l'estimation initiale, et modifier son matériel.

Exemples :

Qu'est-ce que la grandeur d'une foule lors d'une manifestation ? le Nb de personnes (selon qui?) ? la surface qu'elle occupe ? sa densité ? sa faculté à répondre aux mots d'ordre?	Qu'est-ce que la puissance d'un tremblement de terre ? son N° sur l'échelle de Richter, ou de Mercalli ? le coût des dégats ? le Nb de morts et de blessés ? l'étendue des dégats ?
--	--

De la même façon, comment apprécier la gêne induite par un grand boulevard urbain ? En évaluant :

- son niveau sonore à 4 m de hauteur ?
- sa pollution atmosphérique (gaz et poussières) ?
- le sentiment d'insécurité qu'elle crée sur les parents de jeunes enfants ?

Et si l'on choisit le niveau sonore, comment être sûrs que les autres paramètres n'influeront pas sur les enquêtes menées auprès des riverains ?

Dans les cas (nombreux) où l'échelle est bien déterminée, la mesure sert alors parfois à apporter un "confort" de l'esprit en apportant une touche "d'objectivité".

Au fond, la question fondamentale qui doit toujours se poser est la suivante :

FAUT-IL VRAIMENT FAIRE UNE MESURE ?

Car, en effet, la mesure est un LUXE, qui touche plusieurs domaines schématisés ci-dessous :

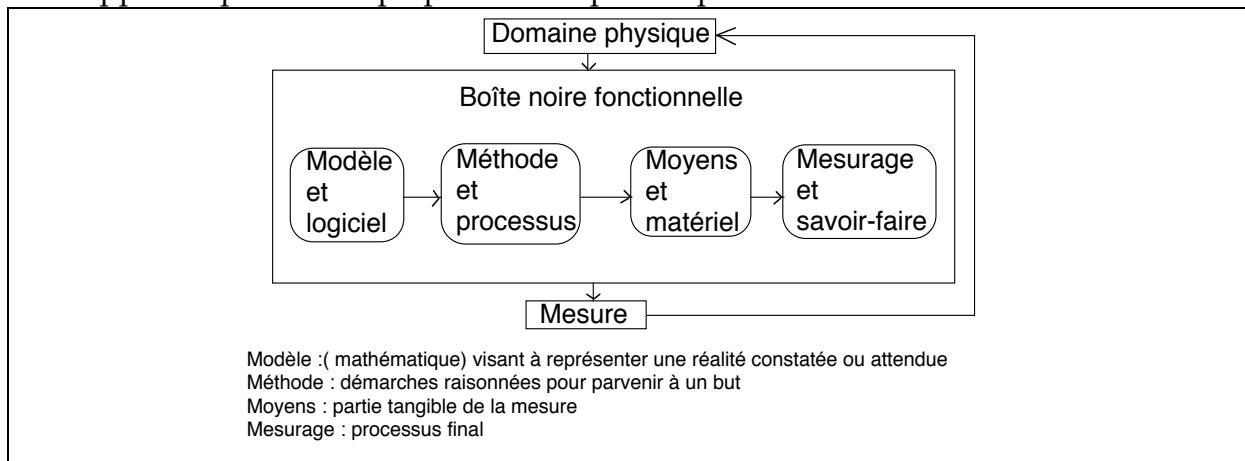
Matériel Elle coûte d'autant plus qu'elle est plus précise	De l'esprit Pour l'effectuer il faut des convictions des hypothèses ... parfois une formation !	De temps Alors qu'une estimation est extrêmement rapide !
Voire Musculaire ...		

C'est également un travail contraignant, car pour garantir la répétitivité, des normes¹² codifient la manière dont certaines mesures doivent être faites : position du microphone, des enceintes, de la cellule de mesure, du capteur de température, ... durée de prise de mesure, mouvement éventuel du capteur.

De nombreux laboratoires qui ont formé des techniciens pour ces pratiques savent qu'il vaut mieux faire appel à l'un ou à l'autre pour obtenir des résultats exploitables, fiables, et représentant bien le phénomène mesuré. La dimension humaine n'est jamais exclue même si des codes précisent de façon stricte la procédure à suivre¹³ !

3) LES APPAREILS DE MESURE, leur validité, leur utilisation

Ces appareils peuvent la plupart du temps se représenter sous la forme suivante¹⁴ :



La majorité des instruments de terrain sont des appareils dits "à lecture directe". Ce sont des appareils qui affichent (sous une forme de plus en plus souvent numérique) un résultat directement exploitable.

Ces appareils possèdent des limites d'utilisation qu'il convient de connaître : limites en température, en pression, en champ magnétique, en position... ainsi que des consignes de mise en place : sismomètre loin du corps.

Tous les appareils possèdent des caractéristiques physiques liées à leur qualité :

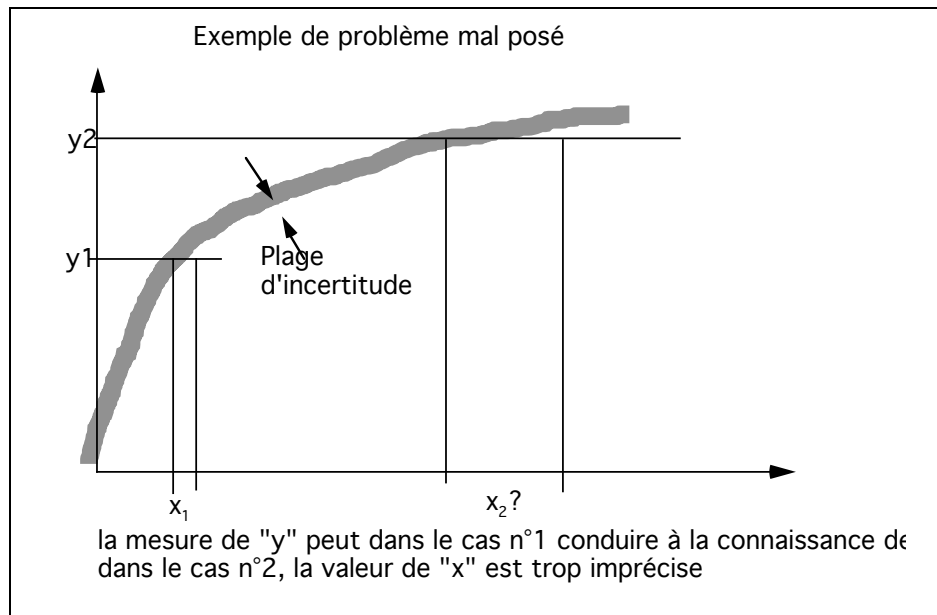
- une "fidélité" : qualité de reproductibilité de la mesure,
- une sensibilité "différentielle" qui est le quotient dG/dV ,
- un pouvoir de résolution qui est la plus petite variation de G que l'appareil est capable de mettre en évidence,
- un temps de réponse souvent variable en fonction de l'analyse demandée,
- une justesse et une précision qu'il ne faut pas confondre :
 - la justesse est la possibilité de donner la "vraie" valeur V avec une moyenne de mesures,
 - la précision est la faible dispersion des mesures autour de cette "vraie" valeur V .

¹² Norme : donnée de référence résultant d'un choix raisonné collectif, pouvant servir de base d'entente entre partenaires pour la résolution de problèmes répétitifs (d'après la définition de l'ISO). Noter que c'est de 1928 que datent à la fois le mot et les premières organisations nationales et internationales. Décidément, les années 1920/1930 ont été très riches en organisation de la mesure.

¹³ « On dit souvent qu'il faut expérimenter sans idée préconçue. Cela n'est pas possible, non seulement ce serait rendre toute expérience stérile, mais on le voudrait qu'on ne le pourrait pas » H. Poincaré, *La science et l'hypothèse*, Paris, Flammarion, 1994

¹⁴ D'après : Encyclopédie de la construction, section « sciences de l'ingénieur » XXXXXXXXXX

L'une des plus grande difficulté dans une opération de mesure consiste à rechercher un équilibre entre ces diverses caractéristiques, et le coût de l'opération. La mesure d'une grandeur n'étant intéressante (en théorie) que si elle est assortie de la précision avec laquelle elle est obtenue.



Exemple : la précision pour les mesures d'éclairément ou d'acoustique (dans l'environnement construit) n'est nécessaire qu'à 20 % près ! Ce qui peut paraître énorme pour le physicien ayant l'habitude de travailler "in vitro" (qui essaye toujours de réduire l'intervalle de précision ou d'incertitude). En température, il est possible de travailler à moins de 1/2 degré près, mais que signifie cette précision par rapport à la perception des usagers ?

Toutes ces notions sont en général concentrées (pour ce qui ne concerne que l'appareillage) dans ce que l'on appelle la "Classe de précision" d'un appareil : plus le chiffre est faible, meilleur est l'instrument

Mais, bien souvent, les utilisateurs d'appareils de mesure n'ont aucune notion de la précision à laquelle ils travaillent, ou de la précision utile pour l'usage qu'ils en auront.

Exemples :

Ce n'est pas parce que les sonomètres sont actuellement capables de mesurer le 1/10^e de décibel, que cette valeur a de la pertinence, en particulier in-situ. Rappelons qu'une variation de 1 dB est seulement perceptible in vitro, et pas à toutes les fréquences.

Autre exemple récent concernant un autre domaine, celui des farines animales : il semble en effet difficile de faire comprendre aux français qu'une tolérance de 0,3 % de farines animales dans l'alimentation bovine soit acceptable. Cependant, si cette valeur constitue le seuil de détection des appareils de mesure, toute tolérance plus faible est illusoire !

Enfin, l'usage de l'analyse informatique crée deux très mauvaises habitudes¹⁵ :

¹⁵ Les appareils actuels nous ont fait oublier le "galvanomètre à cadre mobile" outil de base de la physique au lycée, qui avec son aiguille oscillante montrait la plage de variabilité, et obligeait l'opérateur à faire un choix raisonné.

- celle qui consiste à ne pas se donner une idée (au moins approximative) du résultat : on assiste alors de plus en plus à des relevés sur site qui s'avèrent aberrants après coup,
- celle qui consiste à faire une confiance trop grande aux calculs automatiques internes.

Par exemple, lors du tracé d'une décroissance pour la détermination d'une durée de réverbération. Dans ce cas, le calcul automatique prendra en compte toutes les irrégularités du tracé, alors que le tracé manuel lissera la courbe. Mais quelle est donc, dans ce cas, la durée de réverbération la plus juste ?

4) L'OPERATEUR ET LE SITE

L'opérateur introduit des "erreurs de mesure" de 4 types :

Erreurs systématiques : sonomètre mal calibré...

Erreur accidentelle : faux contact ...

Erreur personnelle : mauvaise formation de l'opérateur ...

Erreur de lecture : trop grande confiance dans l'affichage automatique ...

Il peut aussi être lui-même la cause d'erreurs : soit par mauvaise « intuition », et dans ce cas il déformera les résultats sans mauvaise foi (effet « Pygmalion »)¹⁶, soit par mauvaise foi caractérisée (mais ce cadre sort de notre domaine d'étude).

Enfin, le "site" lui-même va introduire des "erreurs" :

variation perturbatrice du paramètre mesuré (klaxon, ...),

répartition non prévue des mesures (Gaussienne, ...),

conditions de mesure non conformes (pluie, vent ...),

conditions de mesure non habituelles (trafic, passants...).

La norme définit le cadre de certaines mesures aberrantes (en acoustique - NFS 31 085)

"Sur un enregistrement, on peut observer des valeurs aberrantes (du fait des bruits parasites). Si ce nombre est inférieur à 8 % de l'échantillon (soit 2h sur 24h par exemple) la mesure est considérée comme acceptable à condition de remplacer les valeurs incriminées par des valeurs estimées par interpolation.

De fait, l'expérience montre qu'il est difficile de sortir un sonomètre de façon visible sur la voie publique sans que les passants viennent nous trouver pour savoir ce que l'on fait, ou qu'ils passent ostensiblement en criant.

Les deux paragraphes précédents sont exprimés de façon très condensée par le terme américain GIGO : "garbage in, garbage out"¹⁷, ce qui peut se traduire " la qualité des résultats n'est que le reflet de la qualité des données".

5) DES MESURES ? POUR QUOI FAIRE ?

Il existe depuis longtemps deux principes fondamentaux :

¹⁶ Il ne faut pas négliger la portée de l'effet Pygmalion, puisque nous avons vu précédemment que la mesure (surtout pour un opérateur expérimenté) supposait une estimation préalable de l'échelle de mesure. Toute différence importante est donc, d'une certaine façon, une remise en cause de l'opérateur. Comment celui-ci l'acceptera-t-il ?

¹⁷ garbage = ordure

Principe d'indétermination

Défini par Heisenberg en physique quantique :

il est impossible de connaître à la fois

- la position
- la vitesse d'une particule

Principe d'interaction

Toute observation est une action, une interaction entre l'observateur et l'observé

Ces deux principes s'appliquent particulièrement pour nous : le premier, parce qu'il est constant dans tous les domaines de la physique, le second, parce que nos mesures se font dans un environnement humain, où notre observation ne passe pas toujours inaperçue.

Le premier principe s'applique (sous une autre forme) à l'analyse acoustique FFT (Fast Fourier Transform) : on ne peut connaître à la fois de façon précise les valeurs fréquentielles et d'amplitude d'un signal fluctuant !

En effet le produit du temps d'analyse (T) et de la résolution fréquentielle (B : Bandwidth : largeur de bande) : $B \times T = 1$.

Soit : si on désire une résolution de 1 Hz, il faut au moins 1 seconde de signal,

si on désire une résolution de 2 Hz, il faut au moins 0,5 seconde de signal,

si on désire une résolution de 0,5 Hz, il faut au moins 2 seconde de signal,

Il faut alors utiliser d'autres outils !

Le second principe est suffisamment évident pour qu'il ne soit pas nécessaire de le développer ici.

D'où les deux situations bien connues et parfois difficiles à lier :

le laboratoire (in vitro) où l'on cherche à maîtriser (à rendre constants) tous les paramètres sauf 2 : la variable influençant (la cause) et la variable influencée (l'effet) pour établir les relations liant l'une à l'autre (cette situation n'est que rarement celle qui nous concerne dans le cadre bâti),

le terrain (in situ) avec de multiples variables en jeu qu'à défaut de maîtriser on cherche à connaître (par la mesure). Seulement dans ce cas les objets humains (les sujets) réagissent à notre présence d'une manière différente qu'ils ne le feraient sans elle (l'introduction d'un observateur crée une nouvelle situation expérimentale).

En fait, un grand nombre de domaines échappent à la mesure, et notre connaissance sera toujours limitée par des facteurs humains ou sociaux : coût - durée - nombre - déontologie...

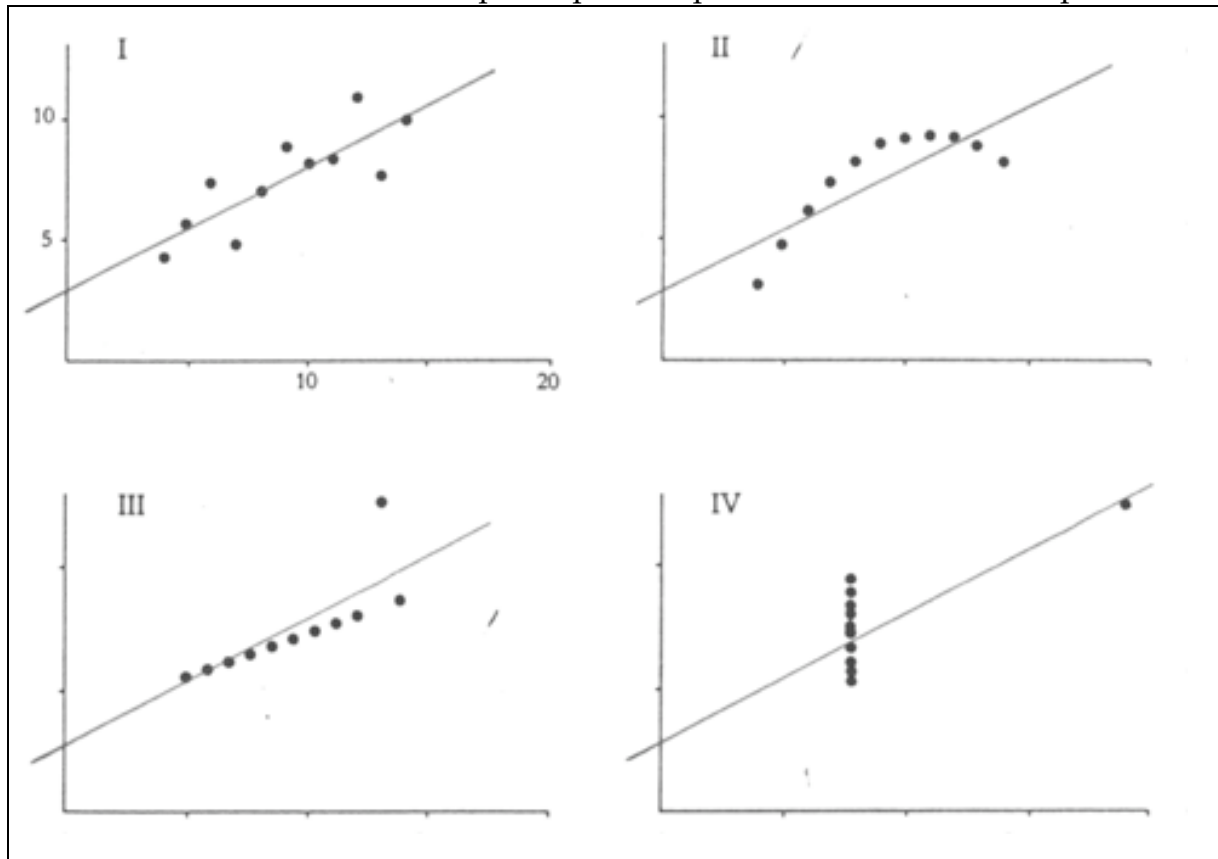
6) DES MESURES, MAIS APRÈS ?

Tout le travail précédent n'a de sens que si une exploitation correcte en est faite, en vue d'interprétation, puis de compléments éventuels.

6.1 Le premier travail consiste d'abord à rendre claires et lisibles les données que l'on a recueillies. De nombreux outils sont à notre disposition pour ce travail : ceux de l'analyse de données (analyse factorielle, régression linéaire...), les graphiques, les cartes, les schémas... Selon le cas, certains seront plus pertinents que d'autres. Ainsi, les variations de l'éclairement dans un local se prêtent plus à une carte en valeurs

dégradées qu'à une série de courbes qui se combinent en 3D, même si la seconde représentation exprime mieux la réalité de la mesure, et les valeurs réelles mesurées. Cependant, s'il existe des outils mathématiques de traitement des données, il convient d'être prudent dans leur usage.

L'exemple ci-dessous¹⁸ contient 11 items mathématiques identiques calculés sur 4 groupements de points différents. Le calcul automatique donne à chaque fois la même droite, mais il est évident que la question posée est différente à chaque fois :



Cas n° 1 : tendance croissante révélée par la courbe, nuage de points sans particularité,

Cas n° 2 : une droite est-elle pertinente ?

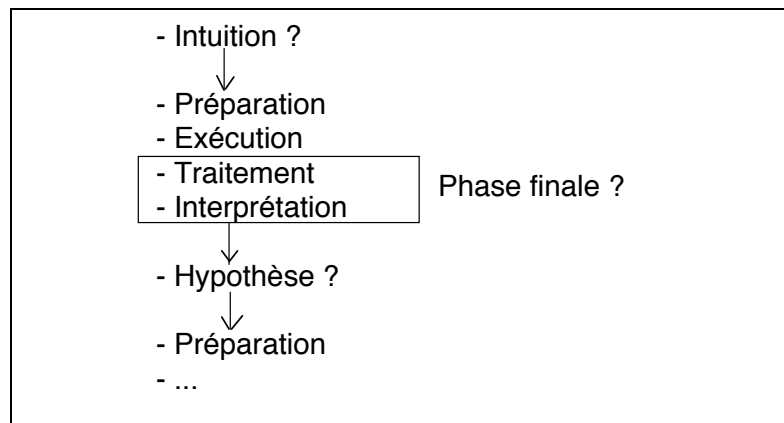
Cas n° 3 et 4 : le point isolé est-il aberrant, ou révélateur d'une question importante qu'il ne faut pas laisser passer ?

6.2 Le second travail consiste à donner du sens aux données recueillies.

Dans cette phase, l'expérience est souvent une aide. Mais, comme dans le projet d'architecture, l'idée ne vient pas toujours avant le dessin. C'est d'un aller-retour entre diverses représentations, et leur interprétation, que peut souvent émerger une explication pertinente.

D'où le schéma ci-dessous qui montre en boucle le travail à mener :

¹⁸ tiré de l'ouvrage de MOLES A. : *Les sciences de l'imprécis*, Paris, Seuil, 1990, 312p



6.3 Enfin, la dernière phase consiste à donner une interprétation personnelle aux résultats

Cette phase est particulièrement importante : *l'expérimentateur qui ne sait pas ce qu'il cherche ne comprend pas ce qu'il trouve*¹⁹. Mais cette interprétation est forcément "subjective", elle trie, pondère, voire oublie certaines données. Les exemples ci-dessous montrent que ces interprétations sont courantes dans notre vie quotidienne même si nous n'en sommes pas souvent conscients.

Exemple statistique :

Les statistiques font partie des mesures les plus faciles à détourner lors de leur exploitation.

*Les chiffres de démographie française contemporaine sur la mortalité infantile (décès avant un an) sont les suivants*²⁰ :

0,5 % pour les enfants de cadres,

1,1 % pour les enfants de manœuvres,

le commentaire est donc que les jeunes enfants meurent 2 fois plus dans le 2e cas.

Mais si on donne la survivance après un an on obtient :

99,5 % pour les enfants de cadres,

98,9 % pour les enfants de manœuvres,

le commentaire est cette fois une différence de moins de 1 % !

*Les deux commentaires sont justes, ils n'ont pas la même portée !*²¹

*"L'exemple du chômage que l'on a commencé à quantifier au début du 20^e siècle. Pourtant depuis longtemps il arrivait que des travailleurs perdent leur travail. Ils tombaient alors dans l'indigence (l'indigence, pas le chômage) et relevaient des dispositifs d'assistance, au même titre que les infirmes, les invalides, les orphelins, les malades ou les veuves. C'est le développement du salariat dans la grande industrie, et les débuts de la constitution du prolétariat en classe sociale qui introduit une coupure entre les travailleurs et la masse des pauvres."*²² *Autrement dit, les chiffres du chômage n'existent que parce que la définition du chômage lui-même existe ! Mais même avec cette définition, que mesurent ces chiffres ?*

¹⁹ C. Bernard : *De la physiologie générale*, Paris, hachette, 1965 (1^{ère} édition 1872)

²⁰ Exemple d'un article de H. Le Bras (*La Recherche* n° 282 déc. 95) "les chiffres parlent-ils sous la torture".

²¹ La phrase de Disraeli (1^{er} ministre Anglais, fin du 19^e siècle) reste encore valable : *il existe trois sortes de mensonge : les petits, les fieffés, et les statistiques.*

²² Exemple de J.L. Besson : *l'homme mesuré, mesure de l'homme et mesure de la société* (in *Mesures, démesure*, Paris, Cité des sciences et de l'industrie, 1995)

l'effectif des personnes inscrites à l'ANPE, et pourquoi va-t-on s'inscrire à l'ANPE ? pour trouver du travail, toucher des indemnités ou bénéficier d'une formation. Ceux qui ne croient à rien de tout cela ne vont pas à l'ANPE ... et ne sont pas comptabilisés. De plus il faut voir comment cette définition du chômage évolue au gré des pays, ou des gouvernements ! (TUC - CES - RMI -emplois-jeunes - corrigé des variations saisonnières...).

Dernier exemple : l'audiométrie, qui sert de base d'évaluation pour les émissions de télévision. C'est le rapport entre la durée réelle d'écoute de tous les testeurs, et la durée maximale d'écoute possible (celle obtenue si tous les testeurs avaient regardé la totalité de l'émission) : $A = D_{réelle}/D_{max}$

Exemple de publication de résultats (pour 50 millions de téléspectateurs potentiels).

Une émission de 60 minutes a eu 10 % d'audience. Tout le monde interprète ce résultat de la façon suivante : 5 millions de français ont regardé l'émission en entier (bon score). Mais il est aussi possible que cela signifie que 50 millions de téléspectateurs ne l'ont regardé que 6 minutes ! (mauvais score).

7) LA MESURE VIRTUELLE

Il n'est pas possible de passer sous silence cette piste très actuelle. Cependant, comme ce n'est pas un domaine où notre laboratoire travaille de façon particulière, ce type de pratique ne sera qu'évoqué.

La "mesure virtuelle" tente parfois (et malheureusement de plus en plus) de prendre la place de la mesure sur le terrain. En effet, si on entre dans une machine des paramètres d'évaluation et des algorithmes de calcul, celle-ci va effectivement donner des résultats quantifiables, mais est-ce toujours de la mesure ?

La mesure virtuelle comporte le risque majeur d'une perte de contact avec le terrain, cependant, elle peut dans de nombreux cas (et en s'appuyant sur des mesures "réelles") constituer en elle-même une forme de mesure.

Le principe repose le plus souvent sur des comparaisons entre grandeurs, les évolutions possibles de ces grandeurs, et leur quantification calculée. Il s'agit bien de la définition d'une mesure, mais :

"La simulation repose sur la mesure, sa répétition, sa multiplication et son accumulation ; Il faut beaucoup de mesures et de données quantitatives pour faire surgir sur l'écran l'artefact vraisemblable qui donne à voir qualitativement la loi dont le texte restait brouillé dans l'observation du réel"²³

8) CONCLUSION PROVISOIRE

Au terme d'un article, on attend de l'auteur qu'il apporte une conclusion, au minimum provisoire.

Formulons là en référence à de vieux théorèmes mathématiques (qui parlaient de condition nécessaire et suffisante) :

**Si la mesure est souvent indispensable, elle n'est pas toujours nécessaire,
et elle n'est en tout cas jamais suffisante !**

et donnons lui un peu d'explication de texte :

Souvent indispensable : car sans mesure il devient rare d'être pris au sérieux.

Pas toujours nécessaire : car le plus souvent elle ne fait que conforter les éléments que l'on a pu recueillir d'une autre façon (parfois plus rapide et moins coûteuse).

Jamais suffisante : car le résultat des mesures seul suffit rarement à convaincre.

²³ CHAZAL G. : *La simulation informatique comme mesure du possible* (sous la direction de JC Beaune) in : *La mesure, instruments et philosophies*, Seyssel, Champ vallon, 1994, p147-155

Deux exemples acoustiques pour illustrer :

Un ingénieur-expert acousticien que nous connaissons pratique ses expertises de la façon suivante pour désamorcer les conflits : il fait discuter le plaignant lors de son déplacement sur le site, laisse le sonomètre dans la valise sans intention véritable de le sortir. Si vraiment le plaignant demande cette "mesure", il lui confie la charge de la faire, en lui expliquant comment procéder. Cette méthode donne le plus souvent satisfaction, elle démystifie la mesure, et relativise (chez l'usager-plaignant) la notion de résultat chiffré.

À l'inverse, lors de mesures pour une recherche sur l'habitat, nous avons obtenu la permission de tester différents paramètres (l'isolement la réverbération, la décroissance ...) dans un logement. Nous avons alors déplacé beaucoup de matériel. Ce logement ayant des problèmes d'isolement aux impacts, nous avons accepté d'être conseil auprès du propriétaire (société de HLM) pour une amélioration. Notre implication dans ce travail nous a alors conduits à refaire des mesures après travaux. Mais nous ne sommes venus qu'avec le strict matériel nécessaire lors de cette 2^e visite !

Pour le locataire (qui restait insatisfait), nos nouvelles mesures ne pouvaient, dans ces conditions, qu'être faites au rabais, donc fausses. Nous étions "achetés" par la société de HLM !

Terminons par un exemple sur la pollution de l'air, dont nous avons vu les limites au paragraphe 1.3 : comment comparer des mesures effectuées à des époques très différentes, sachant qu'entre temps les techniques ont beaucoup évolué ?

Cependant, les mesures existent dans les grandes villes depuis de nombreuses années (CO₂ depuis 1890 à Paris) elles sont :

indispensables, car elles permettent aux différents groupes constitués de mener des actions,

peu nécessaires, car il n'est pas utile de faire ces mesures pour savoir que Paris ou Grenoble sont polluées, d'autres approches nous donnent le même résultat,

pas suffisantes, car bien qu'elles soient anciennes, ce n'est pas le résultat de ces mesures qui amène à "prendre des mesures" mais un fait divers, une catastrophe ...

De plus, actuellement, toutes les mesures montrent que la pollution atmosphérique diminue de façon régulière (à Paris comme ailleurs) alors que le grand public, les collectivités locales et les politiques ont fait de cette diminution (supposée pour l'avenir) l'un de leurs principaux thèmes de revendication ou de travail.

Enfin, mesurer la pollution atmosphérique est relativement simple (même si c'est en fait long et coûteux), mesurer ses effets sur la santé est plus complexe et surtout plus sensible, et prendre des mesures contre les causes s'avère suicidaire pour les politiques.

Bibliographie

BALEZ S. : *Maîtrise des ambiances olfactives par les dispositifs architecturaux*, thèse de doctorat, École polytechnique de Nantes, CRESSON Grenoble, mars 2001

BERNARD C. : *De la physiologie générale*, Paris, hachette, 1965 (1^{ère} édition 1872)

BESSON. J.L. : *l'homme mesuré, mesure de l'homme et mesure de la société* (in *Mesures, démesure*, Pari, Cité des sciences et de l'industrie, 1995)

CHAZAL G. : *La simulation informatique comme mesure du possible* (sous la direction de JC Beaune) in : *La mesure, instruments et philosophies*, Seyssel, Champ vallon, 1994, p147-155

DE BREM P. : *La mesure*, actes du colloque des 7^e entretiens de La Villette, Paris, CNDP, 1995, p 249/250
 Encyclopédie de la construction, section « sciences de l'ingénieur » XXXXXXXXXXXX
 FANGER O. : *Thermal comfort*, New York, McGraw Hill, 1973
 GALILÉE G. : *Discours et démonstrations mathématiques concernant deux nouvelles sciences*. Paris, PUF, 1995 (1^{ère} édition 1638)
 LE BRAS H. : *Les chiffres parlent-ils sous la torture*, La Recherche n) 282 déc. 95
 MOLES A. : *Les sciences de l'imprécis*, Paris, Seuil, 1990, 312p
 PISCOT R. : *Multi-exposition, multi-nuisances en environnement industriel et urbain*. Soutenance prévue mars 2002.
 POINCARÉ H. : *La science et l'hypothèse*, Paris, Flammarion, 1994
 SAINT AUGUSTIN: *Confessions*, livre XI, chap 14 ; Paris, Pierre Horray et cie, 1947

Orientations bibliographiques complémentaires

- BADIOU A. : *Le nombre et les nombres* - Paris - Seuil - 1990.
- BALMONT J. : *Le chiffre et le songe, histoire politique de la découverte* - Paris - O Jacob - 1993
- BEAUNE J.C. : *La mesure, instruments et philosophie* - Seyssel - Champ Vallon - 1994
- BERTIN J. : *Sémiologie graphique* - Paris - Gauthier Villard - 1967 - 432p.
- BONITZER J. : *Les chemins de la science : questions d'épistémologie* - Paris - ED Sociales - 1993 -
- BOURSIN J.L. : *La statistique du quotidien*, Paris, Vuibert, 1992.
- Collectif. : *La cité des chiffres* - Autrement n 5 -1992.
- CHATELET G. : *Les enjeux du mobile* - Paris - Seuil - 1993 - 283p.
- DAGOGNET F. : *Réflexions sur la mesure* - Fougère - Encre Marine - 1993
- ESCARPIT R. : *L'information et la communication* - Paris - Hachette - 1991.
- EXCOFFIER B., PAGÉS J. : *Analyses factorielles simples et multiples*. Paris, Dunod, 1998.
- FOUCAULT T. : *L'analyse des données, mode d'emploi*. Rennes. PUR. 1997.
- LEWIN R. : *La complexité : une théorie de la vie au bord du chaos* - Paris - Interéditions - 1994
- MICHEL H. : *Les instruments des sciences dans l'art et l'histoire* - Bruxelles - A de Viisscher - 1973
- MOLES A.A. : *Les sciences de l'imprécis* - Paris - Seuil - 1990 - 312p.
- MORIN E. : *Science avec conscience* - Paris - Seuil - 1990 - 320p.
- OKSMAN J. : *Mesures et information*, Pour la science, n 258, avril 1999, p90,95.
- PERARD A., TERRIEN J. : *Les mesures physiques* - Paris - PUF - 1947 - 128p.
- RUELLLE D. : *Hasard et chaos* - Paris - O Jacob - 1991 - 248p.
- STENGERS I. : *L'invention des sciences modernes* - Paris - La découverte - 1993 - 211p.

ANNEXE 1 :

Définition du PMV

$$PMV = (0,303 \cdot e^{-0,036M} + 0,028) * \left\{ \begin{array}{l} (M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} [5733 - 6,99(M - W) - P_a] \\ -0,42[(M - W) - 58,15] - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M(5867 - P_a) \\ -0,0014 \cdot M(34 - t_a) \\ -3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] \\ -f_{cl} \cdot h_c(t_{cl} - t_a) \end{array} \right\}$$

avec

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,290 \cdot I_{cl} & \text{pour } I_{cl} < 0,078 m^2 \cdot ^\circ C/W \\ 1,05 + 0,645 \cdot I_{cl} & \text{pour } I_{cl} > 0,078 m^2 \cdot ^\circ C/W \end{cases}$$

et

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028(M - W) - I_{cl} \left\{ 3,96 \cdot 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] + f_{cl} h_c(t_{cl} - t_a) \right\}$$

PMV est le vote moyen prévisible

M : métabolisme énergétique, (W/m² de surface corporelle)

W : travail extérieur (W/m²), égal à zéro la plupart du temps

Icl : résistance thermique due aux vêtements (m²°C/W)

fcl : rapport de surface de corps habillé/surface nue

ta : température de l'air (°C)

tr : température moyenne de rayonnement (°C)

Var : vitesse relative de l'air par rapport au corps (m/s)

Pa : pression partielle de vapeur d'eau (Pa)

hc : coefficient de transfert de chaleur par convection (W/m²°C)

tcl : température de surface du vêtement (°C)

ANNEXE 2 :

Formule de définition de l'UGR (Unified Glare Ratio)

$$\text{UGR} = 8 \log \frac{0,25}{L_b} \sum_{i=1}^n \frac{L_i^2 \omega}{p^2}$$

The diagram shows the formula for Unified Glare Ratio (UGR) with labels pointing to its components:

- (Sensibilité logarithmique) points to the $\log$ function.
- (Luminance de la source) points to L_i in the numerator of the summation.
- (Angle solide) points to ω in the numerator of the summation.
- (Luminance de fond) points to L_b in the denominator of the fraction.
- (Facteur de Guth) points to p^2 in the denominator of the summation.

Le facteur de Guth (p) est le paramètre qui tient compte de la position relative source-observateur

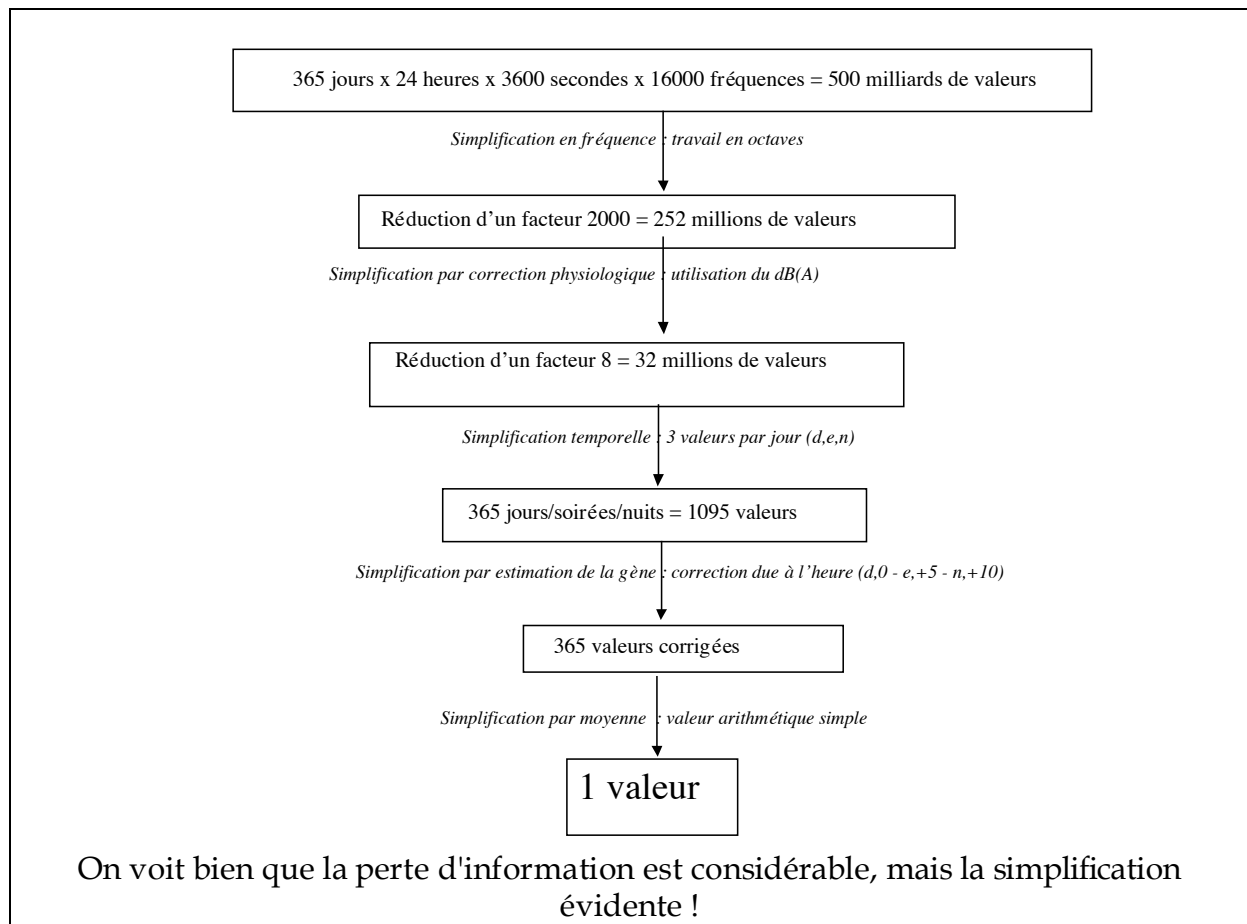
Cette expression est relativement simple à comprendre : l'éblouissement est proportionnel au contraste entre la (ou les) source, et celle du fond. Il dépend de la surface relative de la (les) source (facteur ω), et de la position de cette source par rapport à notre axe de vision. Les multiplicateurs 8 et 0,25 résultent de l'expérimentation.

ANNEXE 3 :

Le nouvel indice européen, et le souci de simplification constant en mesure.

Le graphique ci-dessous montre la complexité du problème posé par la mesure sonore :

Comment passer d'une quantité d'information gigantesque, à une information simple, mais représentative ?



Compte tenu de cette volonté de simplification, les propositions actuelles pour la définition d'un indicateur unique de bruit au niveau européen sont les suivantes :

1. Outil de pondération : le dB(A)
2. Prise en compte de trois périodes :

Journée de 12 heures	pas de correction	d = day,
Soirée de 4 heures	correction de +5 dB(A)	e = evening,
Nuit de 8 heures	correction de +10 dB(A)	n = night,
3. Moyenne arithmétique des 3 valeurs corrigées

L'indice s'appelle L_{den} et son expression de calcul est donc la suivante :

$$L_{den} = 10 \lg \frac{1}{24} \left[12 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{night}+10}{10}} \right]$$

Mais la recommandation ne distingue pas le dimanche (ou un autre jour) de façon spécifique. Elle ne précise pas non plus à quelle heure commence la soirée à Athènes, Helsinki, Rome ou Berlin ?

Pour terminer sur une note humoristique, il serait possible de proposer une seule mesure qui se ferait plus simplement, et dans le strict respect du système décimal :

Effectuer la mesure durant 10 secondes, le 10 octobre à 10 heures.

On obtiendrait ainsi une seule valeur.

Peut-on proposer de confronter cet indice au L_{den} ?
