



HAL
open science

Peut-on remettre la mesure physique en situation ?

Jean-Jacques Delétré

► To cite this version:

Jean-Jacques Delétré. Peut-on remettre la mesure physique en situation ?. Amphoux, Pascal; Thibaud, Jean-Paul; Chelkoff, Grégoire. Ambiances en débats, A la Croisée, pp.185-206 + débats 215-232, 2004, 2-912934-08-7. <hal-04239147>

HAL Id: hal-04239147

<https://hal.science/hal-04239147v1>

Submitted on 12 Oct 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY 4.0 - Attribution - International License

Chapitre 5
MESURER

Pour une physique contextuelle

Peut-on remettre la mesure physique en situation ?

Jean-Jacques Delétré

*Mon Dieu, je sais que je mesure,
mais je voudrais bien savoir ce que je mesure
Saint Augustin ¹*

*Mesure tout ce qui est mesurable,
et rend mesurable tout ce qui ne l'est pas
G. Galilée ²*

La question posée ici se situe bien en aval des réflexions menées dans cet ouvrage au sein de l'équipe CRESSON *, car si on effectue des mesures, c'est qu'on a déjà repéré (ou supposé 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 ont 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 XIXème siècle ou au début du XXème. 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 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 du point de vue de l'usage. La question de la mesure dans l'environnement * humain est donc de plus en plus à l'ordre du jour, les références scientifiques sur le 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 auront fait leur travail et répertorié correctement l'ambiance. Mais si personne ne s'est aperçu que cette ambiance "YGK

¹ SAINT AUGUSTIN, *Confessions*, livre XI, chap 14 ; Paris, Pierre Horray et cie, 1947

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

621" a eu lieu, pourra-t-on dire qu'elle a 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, c'est-à-dire à la question de la mesure, qui de notre point de vue, comprend au moins quatre faces :

- les unités de la mesure (son référent),
- la mesure elle-même (sa pratique),
- la définition de l'objet de la mesure (son but),
- enfin l'exploitation de la mesure (son interprétation).

Les unités (la relativité de définitions fluctuantes)

Bref rappel historique – l'interdépendance des unités

La Révolution française dans sa volonté d'universalité a très vite songé à unifier les différents systèmes de mesure utilisés en France ³, 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. Exemples :

- *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) : le Mètre (m), le Kilogramme (kg), la Seconde (s), l'Ampère (A), le Degré Kelvin (K), la Candela (cd) et la Mole (mol).

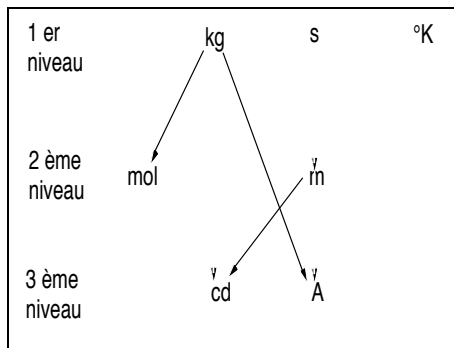
Comme le montre le schéma suivant, trois d'entre elles seulement sont indépendantes (le kg, la s et le K sont définies sans référence aux autres unités), dont l'une n'est pas reproductible (le kg) ⁴. Cette non reproductibilité pose un réel problème aux physiciens, d'autant que le kg sert à définir 3 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) ⁵.

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

³ Dès 1790 avec TALLEYRAND

⁴ 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'extrêmes 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 en utilisant l'équivalence $E=mc^2$. L'une de ces pistes sera utilisée lorsque sa précision dépassera 10^{-8} .

⁵ Les horloges actuelles sont précises à 10^{-15} s près, ce qui va bientôt nécessiter une nouvelle définition de la seconde.



Usage ordinaire – l'incertitude des références

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

Nous n'avons alors plus affaire à des faits authentiques, mais à des faits projetés sur un axe privilégié (en général celui de leur unité). Les faits deviennent commensurables (métriques) d'un certain point de vue, mais de ce point de vue seulement. Les autres points de vue peuvent parfois échapper à la mesure "traditionnelle". Exemples :

- *Un 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 ses résultats 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, chi 2,...). Qui prend la précaution de le faire ?*
- *Dans la vie de tous les jours, qui connaît le mode de calcul du Down Jones (mesuré en moyenne arithmétique sur les 30 premières valeurs des USA) 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. Elles sont explicites mais obscures. Souvent, pour l'usage que l'on en a, notre propre représentation de la mesure suffit. Mais qu'il adienne que l'on soit confronté de plus près à ces données, et notre incompetence apparaît... Nous sommes à la merci des "mesureurs".

Mesure des ambiances – arbitraire et complexité

Parlons plus spécialement des outils qui nous concernent dans l'étude de l'environnement construit et qui peuvent servir à celle des ambiances architecturales ou urbaines. 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 d'intensité lumineuse 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 physique par le biais de la fréquence $540 \cdot 10^{12}$ Hz (soit une longueur d'onde de 0,555 μ). 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.

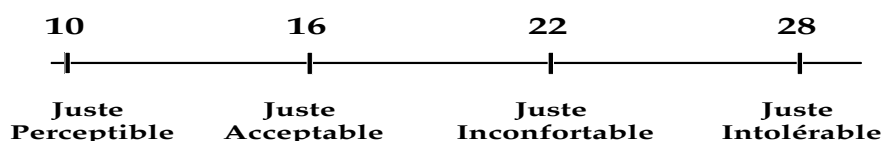
Cette unité est très représentative d'une volonté de l'époque de tout "calculer et mesurer". En effet, à la suite de cette définition, on a pu construire la photométrie, sorte de "pseudo-physique" parfaitement rigoureuse, si on oublie la tare originelle » : l'œil humain. La candela est d'ailleurs complexe à définir dans le système SI car elle se base

historiquement sur la définition peu rigoureuse du Lux (éclairage d'une bougie à 1m), d'où résulte la valeur $1/683^\circ$ de W/sr ⁶.

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 (c'est-à-dire d'un nombre sans dimension) dont on prend le log à base 10. Ce n'est donc pas une unité, et toutes les valeurs relatives 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 ? ⁷

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, puisqu'il s'impose dès la fin des années 1960. Mais il n'est qu'un outil commode, ultra-simplificateur, destiné à chiffrer au moyen d'une seule mesure le rapport entre deux valeurs 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 (cf. *annexe 1*), aura-t-il une durée de vie aussi longue ?

L'UGR (Unified Glare Ratio). Cet outil (cf. *annexe 2*) introduit dans les normes européennes pour la quantification du confort visuel, permet le chiffrage de l'éblouissement sur une échelle de risque ci-dessous :



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. Fanger ⁸) 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 3*, 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 par-

⁶ Jusqu'en 1948, l'Unité d'intensité lumineuse est la "bougie". À cette date, le nom change, et "la candela" est définie comme l'intensité lumineuse suivant la direction normale de $1/60^\circ$ de cm² 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).

⁷ En prenant pour base une génération humaine (durée de 25 ans), la révolution française pourrait alors être positionnée à 9 dB de notre époque ($10 \log 213/25 = 9,3$), Lucy à 51 dB, et le Big Bang à 98 dB !

⁸ Physiologiste danois, membre de l'*International Centre for Indoor Environment and Energy*

fois 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 qui ne sont pas trop contrastées.

Le décipol. Cette unité, non reconnue actuellement, 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 10 l/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'unité⁹ !

La concentration de polluants. Elle est exprimée selon les cas en mg/m³, µg/m³, ou en parties 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 exemple¹⁰. 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 exécutable) et calculé sur 3 polluants seulement (oxyde de soufre, oxyde d'azote et ozone) bénéficie en France d'une procédure de mesurage standardisée.

La pratique (la multiplicité des facteurs d'incertitude)

Les unités étant définies, une mesure nécessite toujours :

- deux "outils" : un appareil de mesure, qui pour une grandeur G donnera une variation V, et un opérateur de mesure qui lira V1 ou V2 ou V3..., chacun de ces "outils" entraînant des possibilités d'erreurs,
- un milieu dans lequel on effectue la mesure, qui est naturellement lui aussi source d'erreurs.

De ce fait, pour chaque mesure il faut :

- choisir la bonne échelle et déterminer le type de mesure et d'appareillage pertinent par rapport au milieu ;
- adapter l'appareillage à ses besoins (poids, prix, fragilité, performance...) ainsi que la précision de la mesure (une échelle de mesure précise pour un phénomène vague nuit plus à sa propre précision qu'elle ne rend service).

Echelle de référence et adéquation de la mesure

L'une des premières questions que se pose l'expérimentateur, consiste le plus souvent à **déterminer "l'échelle"** à laquelle il désire travailler, compétence qui s'acquiert principalement par l'expérience. Après les premières mesures, il lui faudra parfois ré-évaluer l'estimation initiale et modifier son matériel en conséquence. Exemples :

- *Qu'est-ce que la grandeur d'une foule lors d'une manifestation ? Le nombre 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 numéro sur l'échelle de Richter, ou de Mercalli ? Le coût des dégâts ? Le nombre de morts et de blessés ? L'étendue des dégâts ?*

De la même façon, dans le champ des ambiances urbaines, comment apprécier la gêne induite par un grand boulevard urbain ? En évaluant :

⁹ S. BALEZ, *Maîtrise des ambiances olfactives par les dispositifs architecturaux*, thèse de doctorat, Ecole Polytechnique de l'Université de Nantes, Laboratoire CRESSON, Grenoble, 2001

¹⁰ Voir la thèse de R. PISCOT, *Multi-exposition, multi-nuisances en environnement industriel et urbain*, thèse de doctorat, Ecole Polytechnique de l'Université de Nantes, Laboratoire CRESSON, Grenoble, 2002

- 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'influenceront pas sur la perception de ce niveau ?

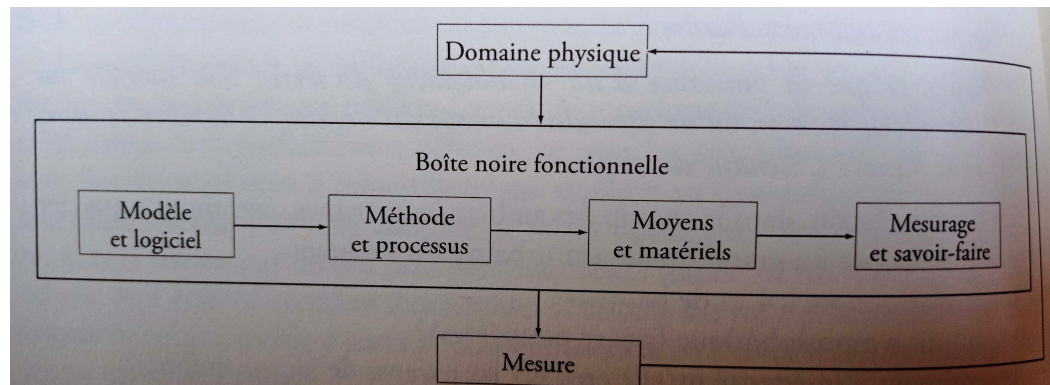
Lorsque l'échelle de référence est bien déterminée, la mesure sert alors parfois à apporter un "confort" de l'esprit en lui fournissant une touche "d'objectivité". Au fond, la question fondamentale qui doit toujours se poser est la suivante : **faut-il vraiment faire une mesure ?** Car, en effet, la mesure doit être considérée comme **un luxe** à plusieurs titres :

- un luxe matériel – elle coûte d'autant plus cher qu'elle est plus précise ;
- un luxe de l'esprit – pour l'effectuer, il faut des convictions, des hypothèses, parfois même une formation ;
- un luxe de temps – alors qu'une estimation est souvent si rapide ;
- voire un luxe "musculaire"...

Enfin, il faut ajouter que c'est un travail contraignant, car pour garantir la répétabilité des mesures, des normes ¹¹ codifient la manière dont elles 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, etc. 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 donc jamais exclue même si des codes précisent de façon stricte la procédure à suivre ¹² !

Les appareils de mesure – définition, validité, utilisation

Ces appareils peuvent être définis comme des boîtes noires fonctionnelles que l'on peut se représenter la plupart du temps sous la forme suivante ¹³ :



¹¹ 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.

¹² « 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*, Flammarion, Paris, 1994.

¹³ Schéma simplifié d'après P. AUBERT *et al.*, *Techniques de l'ingénieur – Traité « Mesures et Contrôles »*, Tome 1, Techniques de l'ingénieur, Paris

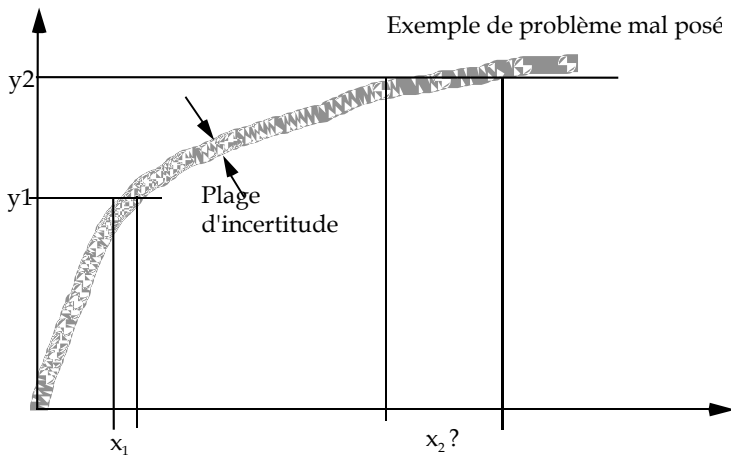
La majorité des instruments de terrain sont des appareils dits "à lecture directe". Ce sont des appareils qui affichent (sous une forme de plus en plus souvent numérique) un résultat directement exploitable. Ces appareils possèdent des limites d'utilisation qu'il convient de connaître : limites en température, en pression, en champ magnétique, en position... ainsi que des consignes de mise en place : sonomètre loin du corps. Tous les appareils possèdent des caractéristiques physiques liées à leurs performances :

- 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 .

L'une des plus grandes difficultés 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'est en effet intéressante (en théorie) que si elle est assortie de la précision avec laquelle elle a été obtenue. Exemple :

□ *La précision pour les mesures d'éclairage 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). Pour des mesures de 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 ?*

De façon plus générale, le schéma suivant illustre le fait que la plage d'incertitude ou le degré de précision de l'appareil varie en fonction de la grandeur mesurée.



la mesure de "y" peut dans le cas n°1 conduire à la connaissance de "x"
 dans le cas n°2, la valeur de "x" est trop imprécise

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 1/10e de décibel que cette valeur a de la pertinence. Rappelons qu'une variation de*

1 dB est seulement perceptible in vitro, et pas à toutes les fréquences, ce qui veut dire qu'une telle précision est illusoire in situ.

- Autre exemple récent concernant le domaine des farines animales : il semble difficile de faire comprendre aux Français qu'une tolérance de 0,3 % de farines animales dans l'alimentation bovine soit acceptable. Et pourtant, 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 habitudes ¹⁴ : 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), et celle qui consiste à faire une confiance trop grande aux calculs automatiques internes. Exemple :

- Lors du tracé d'une décroissance pour la détermination d'une durée de réverbération *, 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 ?

L'objet de la mesure (l'inaccessibilité de valeurs objectives)

L'opérateur et le site – erreurs et conditions de mesure

Indépendamment des appareils qu'il utilise, l'opérateur fatalement introduit des "erreurs de mesure". Celles-ci sont de 4 types :

- erreurs systématiques : sonomètre mal calibré...
- erreurs accidentelles : faux contact...
- erreurs personnelles : mauvaise formation de l'opérateur, inattention, ...
- erreurs 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 ») ¹⁵, soit par mauvaise foi caractérisée (mais ce cadre sort de notre domaine d'étude).

Enfin, le "site" peut introduire d'autres "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. Par exemple en acoustique (NFS 31 085) : « on peut observer sur un enregistrement des valeurs aberrantes du fait des bruits parasites (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). 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. » C'est ce qu'exprime de façon très condensée le terme américain GIGO : *Garbage In, Garbage Out* ¹⁶, ce qui peut se traduire sous la

¹⁴ 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.

¹⁵ 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 ?

¹⁶ *Garbage* = ordure

forme suivante : « **La qualité des résultats n'est que le reflet de la qualité des données** ».

Des mesures ? Pour quoi faire ? Principe d'indétermination et principe d'interaction

Il existe depuis longtemps deux principes fondamentaux :

- le principe d'indétermination, démontré par Heisenberg en physique quantique : il est impossible de connaître à la fois la position et la vitesse d'une particule ;
- le principe d'interaction : toute observation est une action, c'est-à-dire engage une interaction entre l'observateur et l'observé.

Ces deux principes s'appliquent particulièrement dans notre champ d'investigation : le premier parce qu'il est constant dans tous les domaines de la physique (et en particulier dans celui d'une physique des ambiances), le second parce que nos efforts de mesure des ambiances se font toujours dans un environnement humain, dans lequel notre observation ne passe pas toujours inaperçue. Exemples :

- *Le premier principe s'applique (sous une autre forme) à l'analyse acoustique FFT (Fast Fourier Transform) et peut s'énoncer ainsi : on ne peut connaître de façon précise à la fois les valeurs fréquentielles et les valeurs d'amplitude d'un signal fluctuant !¹⁷*
- *Le second principe est suffisamment évident pour qu'il ne soit pas nécessaire de le développer ici (cf. par exemple la curiosité des passants citée au paragraphe précédent).*

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 deux : la variable influençant (la cause) et la variable influencée (l'effet) pour établir les relations liant l'une à l'autre (cette situation est 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 et modifient leur comportement par rapport à la situation ordinaire (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... A la question initiale « faut-il vraiment faire une mesure ? » s'ajoute la suivante : « Pour quoi faire une mesure ? » Dans quel but, compte tenu des limites qu'imposent à une connaissance objective les principes d'Heisenberg et d'interaction ?

L'exploitation (la diversité des interprétations possibles)

Tout le travail précédent n'a de sens que si une exploitation correcte en est faite, en termes de représentation, d'interprétation, puis de simulation éventuelle.

¹⁷ 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 secondes de signal.

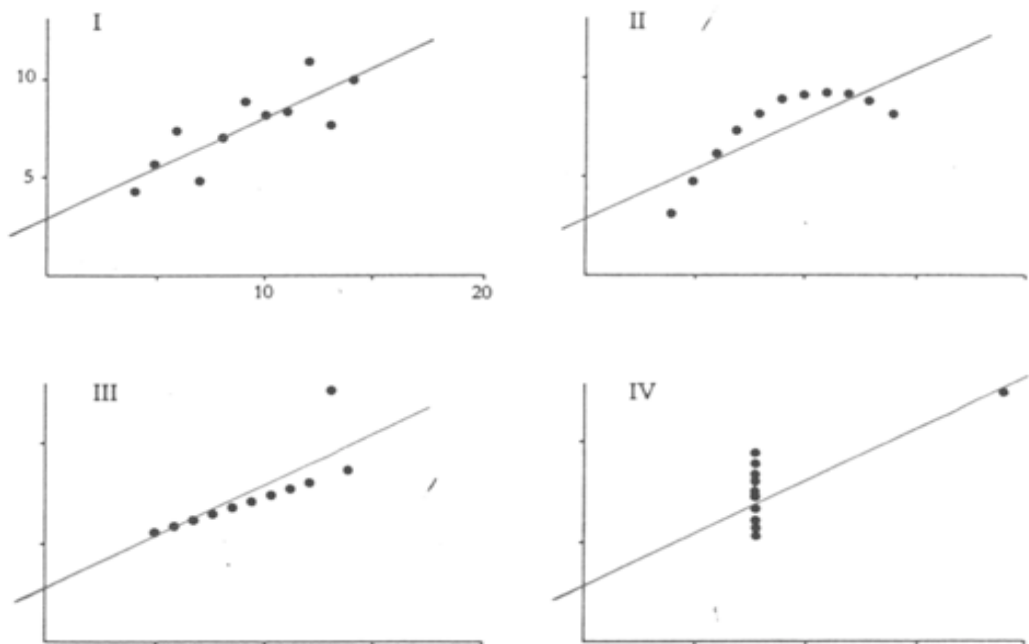
Il faut alors utiliser d'autres outils !

Représentation et traitement des données – la menace de l'occultation des phénomènes

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 les cas, certains seront plus pertinents que d'autres. Ainsi, les variations de l'éclairage 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 ou les valeurs réelles qui sont mesurées.

Cependant, s'il existe des outils mathématiques de traitement des données, il convient d'être prudent dans leur usage, les mêmes outils pouvant révéler ou occulter un phénomène observable. Exemple :

- Les diagrammes ci-dessous¹⁸ contiennent 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 :
- Dans le cas n°1, la courbe révèle une tendance croissante, le nuage de points n'offre aucune particularité,
- Dans le cas n°2, la droite est-elle pertinente ?
- Dans les cas n°3 et 4, le point isolé est-il aberrant ou révélateur d'une question importante qu'il ne faut pas laisser passer ?

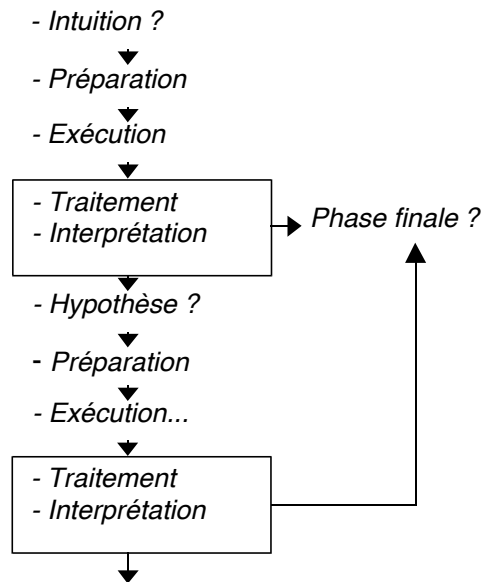


Explication et interprétation des résultats – la menace d'un détournement de sens

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 interprétations 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 A. MOLES, *Les sciences de l'imprécis*, Seuil, Paris, 1990, 312p.



La menace est cette fois celle d'un détournement de sens car toute interprétation est forcément au moins partiellement "subjective". Claude Bernard disait : « *L'expérimentateur qui ne sait pas ce qu'il cherche ne comprend pas ce qu'il trouve* »¹⁹. Il trie, pondère, voire oublie certaines données. Parmi celles-ci, les statistiques font partie des mesures les plus faciles à détourner lors de leur exploitation²⁰. Les exemples ci-dessous montrent qu'un tel flottement des interprétations est courant dans notre vie quotidienne même si nous n'en sommes pas souvent conscients. Exemples :

□ *Les chiffres de démographie française contemporaine sur la mortalité infantile (décès avant un an) sont les suivants²¹ : 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 deuxième 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, mais ils n'ont pas la même portée !

□ *L'audiométrie, qui sert de base d'évaluation pour les émissions de télévision, consiste à mesurer 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) : $A = \frac{Dréelle}{Dmax}$.*

Ce type de calcul donne lieu à la publication de résultats du type suivant (pour 50 millions de téléspectateurs potentiels). Une émission de 60 minutes a eu 10 % d'audience. Tout le monde interprète ce chiffre 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 ! Ce qui devient un fort mauvais score...

Mesure virtuelle – la menace d'une virtualisation de la mesure

La "mesure virtuelle" tente parfois (et malheureusement de plus en plus) de prendre la place de la mesure sur le terrain. Elle présente à ce titre le risque majeur d'une perte de contact avec le terrain. En effet, si on entre dans une machine des paramètres d'évaluation d'un univers virtuel et des algorithmes de calcul permettant d'y simuler un phénomène, la machine va effectivement donner des résultats quantifiables. Mais est-

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

²⁰ La phrase de DISRAELI (1^{er} ministre anglais, à la fin du 19^e siècle) reste encore valable : « *Il existe trois sortes de mensonge : les petits, les fieffés, et les statistiques* ».

²¹ Exemple d'un article de H. LE BRAS, "Les chiffres parlent-ils sous la torture", in *La Recherche*, n° 282, Paris, déc. 95.

ce toujours de la mesure ? Est-ce que ce n'est pas la mesure elle-même qui devient virtuelle ? Sans doute peut-elle, en s'appuyant sur des mesures "réelles", constituer une forme de mesure : « *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* »²²

Mais on comprend bien quelle est la menace et/ou l'enjeu : que la mesure d'un phénomène virtuel ne se solde pas par une virtualisation de la mesure réelle.

Le rôle de la mesure pour la connaissance des ambiances

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

- 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.

Ces trois propriétés sont d'autant plus vraies que nous posons la question de la mesure des ambiances architecturales ou urbaines²³. Illustrons-les par deux exemples vécus dans le domaine de l'acoustique :

- *Un ingénieur-expert acousticien que nous connaissons bien 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 que nous devons faire pour une recherche sur l'habitat, nous avons obtenu la permission de tester différents paramètres dans un logement (l'isolement, la réverbération *, la décroissance ...). Nous avons alors déplacé beaucoup de matériel (ne sachant pas exactement ce dont nous aurions besoin). 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 nouvelle implication dans ce travail nous a alors conduits à refaire des mesures après travaux, mais nous ne sommes revenus cette fois qu'avec le matériel nécessaire !... 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 !*

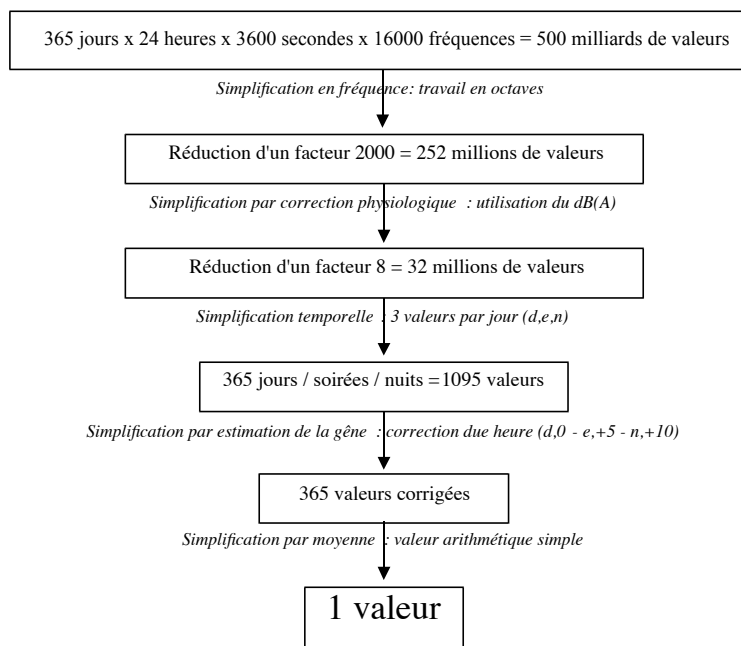
Dans les deux cas, la mesure apparaît bel et bien indispensable (même si c'est pour des raisons différentes), non nécessaire et en soi insuffisante.

²² G. CHAZAL, « La simulation informatique comme mesure du possible » (sous la direction de J.-C. Beaune) in : *La mesure, instruments et philosophies*, Champ vallon, Seyssel, 1994, pp.147-155.

²³ Ce que j'ai essayé de faire dans plusieurs articles : J.-J. DELÉTRÉ, "Lumière : prise en compte de l'éclairage naturel dans le projet d'architecture", in *Architecture, Ambiance et Energie*, numéro spécial de la revue Technique et Architecture, 1989, pp. 20-23 ; J.-J. DELÉTRÉ, "Le confort sonore et la métrologie acoustique", in *Architecture & Comportement=Architecture & Behavior*, Vol. 7, n° 1, 1991, pp.95-99 ; J.-J. DELÉTRÉ, "Les effets des réglementations acoustiques sur l'espace urbain", in Marie-France Mattéi et Denise Pumain (éds.), *Données urbaines*, n° 3, Anthropos, Economica, 2000, pp. 411-418.

Annexe 1 Le nouvel indice européen sonore ou le souci de simplification constant en métrologie

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 ? On voit bien que la perte d'information est considérable, mais la simplification évidente !



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

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

$$L_{den} = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{24} \left(2 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{night}+10}{10}} \right) \right]$$

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 caricaturer le problème par une note d'humour, il serait plus simple de proposer une mesure unique qui se ferait 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} ?

Annexe 2
Formule de définition de l'UGR (Unified Glare Ratio)

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

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 le 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
Définition du PMV

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

avec

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

et

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

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

I_{cl} : résistance thermique due aux vêtements (m²°C/W)

f_{cl} : rapport de surface de corps habillé/surface nue

t_a : température de l'air (°C)

t_r : température moyenne de rayonnement (°C)

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

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

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

t_{cl} : température de surface du vêtement (°C)

Ce débat porte sur les deux articles du chapitre 5 MESURER Pour une physique contextuelle de l'ouvrage Ambiances en débats :

AMPHOUX, Pascal, CHELKOFF, Grégoire et THIBAUD, Jean-Paul (éd.), 2004. Ambiances en débats. Grenoble : A la Croisée.

Peut-on remettre la mesure physique en situation ?

Jean-Jacques Delétré

Ambiances sonores en gare. De la mesure acoustique à la mesure immergée

Nicolas Remy

Débat

La maîtrise des ambiances se réduit-elle à un problème de mesure ?

JPT : Une question introductive. Quel rapport y a-t-il entre ce qu'on appelle la "maîtrise des ambiances" et la question des mesures, telle que vous la présentez là ? Est-ce que la maîtrise des ambiances telle qu'elle est entendue couramment dans les Ecoles d'architecture, c'est simplement « être capable de mesurer un certain nombre de phénomènes », ou est-ce que ce n'est pas seulement ça ?

JJD : À mon avis, cela ne doit pas être réduit à ça. Seulement, dans le cadre bâti, ça finit toujours à un moment ou à un autre par se traduire de cette façon-là. Il y a toujours un moment où on va sur le terrain, où on vérifie que le projet est conforme à ce qu'on a prévu, où on vérifie que ce que des gens expriment est pertinent ou tout simplement raisonnable. Ceci étant, je crois qu'il y a des cas dans lesquels on peut, sans mesure, arriver à des résultats identiques et où il faut donc adopter d'autres méthodes... Je me suis placé dans une perspective critique parce qu'il me semblait que ce n'était pas franchement la peine de développer ici les bienfaits de la mesure. Mais il ne faut pas non plus généraliser. La mesure apporte aussi des résultats qu'il ne faut pas négliger.

La mesure *in situ* est rigoureusement hors normes

PA : Contrairement à ce que tu dis, JJD, il serait intéressant que tu ré-interviennes une autre fois, mais pour nous dire cette fois en quoi la mesure est utile ! Parce que, si on a tous quand même pas mal intégré le discours critique sur l'hégémonie des méthodes quantitatives, je trouve qu'on manque d'arguments un peu forts pour montrer la pertinence d'une hybridation profonde entre la mesure et la "démessure", ou plutôt la non-mesure.

JJD : Si l'on se situe bien dans le contexte d'un cadre bâti et non dans celui d'un laboratoire, la mesure ne peut être que sujette à discussion et ne pourra jamais être parfaitement rigoureuse et ne pas prêter le flanc à la critique. Ce n'est pas possible parce qu'elle s'appuie sur des systèmes de normes (ça peut être les normes du système SI ou ça peut être des normes que le Labo s'est construites), qui cadrent et qui balisent le champ de validité de la mesure, en l'enfermant dans un domaine en dehors duquel on ne sait pas ce qui se passe. « J'ai fait mes mesures dans telles ou telles conditions » ou bien « j'ai exploité mes mesures dans telles ou telles conditions »... Mais si on sort de ces conditions de laboratoire, l'incertitude est de règle ; si la frange est faible, on peut se dire « ça va encore », mais il y a des moments où ça dérape vite, et ça, on ne le sait pas : est-ce qu'on est en train de dévier complètement, ou est-ce qu'on est dans une continuité suffisante pour qu'on puisse se dire « ça va, je suis encore assez bon » ?

PA : Il y a donc incertitude de la mesure lorsque l'on sort des conditions définies par la norme.

JJD : Mais en même temps, il faut être conscient du fait que chaque système normatif évolue, même les plus rigoristes... Par exemple en acoustique, les résultats d'aujourd'hui ne sont plus les mêmes que ceux d'hier... Les dernières mesures de bâtiment demandent maintenant qu'on tienne le micro à bout de bras, et puis qu'on fasse un huit, comme ça [geste], pendant 20" ! [rires] ! Avant, c'était sur un pied de micro, à un endroit bien précis, en ne bougeant surtout pas. Et voilà. Brusquement on s'est aperçu qu'il fallait une variation spatio-temporelle pour faire une mesure acoustique... On peut sans doute dire que cette norme-là est plus pertinente que la précédente, qu'elle donne des informations plus sérieuses, mais en même temps la mesure reste toujours bornée : elle est condamnée à faire un huit dans une amplitude de 80 cm et pendant 20 s !...

Un degré de précision différent suivant les modalités sensorielles

JPT : Est-ce que la question des mesures se pose toujours dans les mêmes termes si on s'intéresse à des phénomènes acoustiques, lumineux ou thermiques ? Est-ce qu'il peut y avoir des degrés de validité de mesure différents selon les modalités sensorielles ?

JJD : "Validité" ? C'est-à-dire ?

JPT : De précision, de pertinence, de rigueur...

JJD : Ça rejoint la question précédente. Les mesures qui restent cantonnées dans un domaine physique assez strict ont une précision énorme. Pour en revenir à la température, une fois qu'on a décidé où on met le thermomètre et comment on fait la mesure, si le thermomètre est bon et si on sait le lire comme il faut, on aura une précision phénoménale, alors que, dès qu'on manipule un outil (soit d'éclairage, soit d'acoustique), on sait qu'on est au mieux à 20%. Donc, c'est ce que je disais tout à l'heure... Dans un cas on va être à 0,05% peut-être, dans l'autre on est à 20%. Dans le premier cas on reste dans le domaine physique, dans le second on est dans un domaine psychophysiologique.

C'est pour ça que je disais qu'on pourrait imaginer, à ma connaissance ça n'a jamais été fait, des thermomètres qui ne soient pas linéaires, qui s'étirent dans la plage - 5°C + 25°C, et qui se resserrent au-dessus ou au dessous. Un demi degré de variation dans cette salle aujourd'hui, pour certains d'entre nous, ça peut être très important : c'est le confort ou l'inconfort qui se jouent au 1/2°C quelquefois. Tandis qu'un demi degré quand il fait 32° ou 33°C, ça ne joue plus.

JPT : Alors ça serait l'équivalent du dB(A) au niveau sonore... ?

JJD : Ça deviendrait quelque chose qui serait l'équivalent du dB(A) ou du lux, c'est-à-dire des outils qui sont basés sur une physiologie. Mais du coup, ils deviennent imprécis, puisqu'ils sont fondés sur une valeur statistique moyenne. C'est toujours le même problème.

Du flottement des normes dans l'évaluation des odeurs ou de la pollution atmosphérique

SB : Dans le domaine des odeurs, la mesure pose un problème énorme, parce que justement elle n'est pas du tout universelle et que la norme est à peine en train de se mettre en place.

JJD : C'est vrai. Dans ce domaine-là, c'est très embryonnaire. Et dans la mesure de la qualité de l'air, ce n'est pas plus défini. On ne sait pas ce qu'on mesure et on ne sait pas comment on mesure... On sait peut-être ce qui se passe à Grenoble, mais on ne peut pas le comparer à ce qui se passe à Berlin ou à New-York, parce que les systèmes de mesure ne sont pas identiques, parce que les appareillages ne sont pas identiques, parce que les temps d'exposition ne sont pas identiques. On peut les accumuler et dire, après, « c'est plus pollué à Grenoble qu'à Berlin », mais en fait, on n'en sait rien.

D'un côté donc, il y a la codification extrême, qui rigidifie tout l'ensemble et qui fait que, si on ne se soumet pas à la norme du système, on ne sait pas ce qu'on dit. Et de l'autre côté, il y a l'absence de codification ou l'incapacité de codifier, qui fait que l'on ne peut pas parler des phénomènes mesurés, ou qu'on dit des choses dont on n'est absolument pas sûr.

Seuils de sensibilité variables, mesures invariables

JPT : Est-ce qu'on a une connaissance identique des seuils de sensibilité selon les sens ? Ou est-ce que certains sens sont mieux connus que d'autres et permettent donc d'avoir une corrélation plus précise entre la mesure physique et la sensation ?

JJD : À ma connaissance, les seuils de sensibilité sont bien connus, au moins dans les trois domaines qui nous concernent classiquement, la thermique, l'éclairage et l'acoustique. Le problème, c'est qu'ils sont variables selon les niveaux, par exemple selon le niveau thermique ou le niveau sonore auquel on se situe, le niveau sonore englobant en plus les fréquences, le niveau thermique englobant l'hygrothermique, c'est-à-dire l'humidité, etc. Donc, le seuil de sensibilité va varier selon la situation. Et ça, les appareils ne le prennent pas en compte. On les fige sur des espèces de valeurs moyennes adaptées au type d'usage qu'on veut en faire. Le dB(A) comme le lux sont deux outils moyens, calibrés sur des systèmes simples pour éviter d'avoir 36 appareils. On sait très bien qu'il y a 80 ou 100 dB qui existent ! Le dB(A) en est un. Et si on a pris celui-là, c'est parce qu'il est plus simple, et "meilleur marché" entre guillemets.

BA : Autrement dit, on devrait travailler avec des pascals, c'est-à-dire comparer des pressions et non pas comparer du logarithmique avec des perceptions sensibles.

JJD : Oui, mais en même temps tu n'aurais pas "le ressenti", tu n'aurais pas ce que ça veut dire pour un individu, il faudrait trouver des formules d'exploitation après.

Du corps comme référence métrique à l'incorporation de la mesure

GC : Les systèmes de mesure de l'espace, au départ, étaient rapportés à l'homme : la mesure de la main, la toise, le pied, le pouce, ... Pour l'espace c'est à peu près clair, même si, après, on passe dans le système métrique qui est référé au méridien... Mais ce qui reste important, c'est le rapport corporel que l'homme entretient avec ces unités de mesure. Quand on travaille sur l'espace, ça reste infiniment important de savoir que le coude, « ça fait ça », la hauteur du plexus 1,14 m, qu'en faisant ça je vais pouvoir étendre les bras, etc. Donc il y a un rapport au corps qui est assez directement évaluable, et ce sont les rapports qui sont intéressants. Or, dans le domaine des ambiances, on fait toujours de la mesure absolue, et rarement de la mesure relative qui permettrait de réintroduire justement la dynamique de la perception. Les critères de mesures à ce moment-là ne sont pas... le décibel, le candela, ... En soi, peu importe leur valeur absolue. Ce qui permettrait d'évaluer une ambiance, ce serait le rapport de cette valeur avec une autre valeur, ou avec l'état dynamique dans lequel elle est évaluée.

JPT : C'est la question de la référence...

GC : Oui. C'est pour ça que je faisais le parallèle avec l'espace, parce qu'avec l'espace on a cette connaissance, à force de pratique et d'apprentissage, et on arrive à évaluer le passage, la hauteur, ceci ou cela, en faisant des rapports entre différents éléments de caractérisation de l'espace. On arrive à intégrer une échelle de valeurs, qui ne correspondent peut-être pas à des mesures précises mais qui sont extrêmement fiables, parce qu'elles ramènent au sens que cela prend dans l'usage ou dans le vécu. Pour l'espace, ça marche : le système de référence, parce qu'il est rapporté au corps, devient mesure pour moi et partageable avec autrui. Mais pour l'ambiance, ce n'est pas encore probant.

JJD : C'est pour ça que je dis que parfois un peu d'"intuition" ou d'expérience permet d'avoir de très bons ordres de grandeur, et donc de se faire une opinion précise sur un

ensemble de valeurs ou de paramètres de l'environnement * sans avoir besoin de les mesurer.

GC : ...Oui, mais ce qui importe, c'est que c'est une mesure qui est étalonnée par rapport à quelque chose qui n'appartient pas au système de mesure, mais qui relève de mon expérience professionnelle ou personnelle.

« Ça fait 6 mètres », « Je suis à 85 »

PA : Peut-être pourrait-on dire que c'est le rôle de la mesure dans la représentation du qualitatif. Comme architecte, je vois la réalité de ce que je représente en dessinant. Quand on dit « ça fait 6 m », on sait à quoi ça correspond dans la réalité ; quand on dit « cette pièce fait 6.40 m - 6.50 m », on vérifie, ça marche. Ou bien comme géographe, lorsque tu regardes une carte, tu vois le terrain réel dans sa représentation. Tu as la pente dans l'œil. Ça, c'est une...

GC : Une incorporation...

PA : C'est une incorporation, c'est une induction des représentations qui marche et qui est fondée, non pas sur la mesure, mais sur l'usage de la mesure. Par rapport au décibel, c'est la même chose : quand on va sur le terrain, tu dis « c'est 55, peut-être 57 » ; et ensuite, quand on en parle entre nous, "57" on entend à peu près à quoi ça correspond. Donc il me semble que la mesure fraye un passage vers du qualitatif, parce qu'en ce cas elle offre une représentation, dans laquelle ce n'est plus le chiffre absolu qui compte, mais ce que cela signifie comme niveau sonore, comme distance, comme effet de perspective, comme pente, etc.

JJD : Au fond, on parle d'usage, c'est ça...

PA : Oui, on parle d'usage. On pourrait aussi citer tout ce qu'on appelle la "réalité augmentée". C'est bien d'une certaine façon un certain usage de la mesure qui est réintroduit dans une situation, puisqu'il y a un enrichissement de la perception du réel via le système de mesures qui donne une indication et modifie le rapport à cette réalité-là. Alors, c'est vrai dans des systèmes techniques sophistiqués, mais c'est vrai quand on conduit sa voiture et qu'on regarde à combien on est pour prendre le virage, ou le compte-tours pour changer de vitesses, ...

JJD : Oui, on en a une estimation parce qu'on en a une habitude...

GC : ...et parce qu'il y a incorporation aussi de l'effet * sensible que procure le mouvement du véhicule...

PA : Oui, il y a bien incorporation d'un système de mesure, qui fait qu'éventuellement il ne me sert plus. Mais il est là quand même, et ça fait partie du confort en quelque sorte. Cela fait partie intégrante de ma réalité perçue.

Mesures absolues, mesures relatives

NT : Il m'a semblé que vous aviez une conception un peu différente de la mesure, GC et JJD. Toi, GC, tu mets plutôt l'accent sur la référence au corps, alors que toi, JJD, tu la places plutôt dans le rapport entre des mesures. Alors, tu nous as beaucoup parlé des problèmes de la mesure absolue, mais très peu des potentialités offertes par des mesures "différentielles" qui, comme le disait PA, permettent peut-être de frayer un passage entre le quantitatif et le qualitatif : quand on dit « c'est moitié moins », ça se compte, ça se quantifie, mais en même temps, c'est une appréciation qualitative. Ou quand la thermique définit des zones de confort modulables en fonction de l'activité de la personne, c'est du calcul, de la valeur, mais c'est en même temps de l'usage puisque l'activité est intégrée dans la formule. Alors, la question se situe peut-être là : les mesures absolues ne disent sans doute pas grand chose sur les ambiances, si ce n'est "aux conditions limites". Par contre, les mesures différentielles, à mon avis, ont une plus grande pertinence parce qu'elles établissent implicitement déjà un lien entre le qualitatif et le quantitatif et nous permettent de ne pas faire de l'absolu.

NR : Quand dans nos rapports CRESSON *, on caractérise un parcours en $\pm 5-6$ dB, c'est déjà une tentative... On s'en fout que ce soit à 60 ou 65, l'important c'est que, quand on passe de A à B, il y a ± 5 dB, c'est-à-dire une valeur relative... Mais cela n'empêche pas que l'on puisse espérer qu'elle soit plus ou moins reproductible.

Prescription normative, prescription créative

GC : C'est important également en termes de prescription, par exemple dans la programmation architecturale ou urbaine. Ce n'est pas la même chose de prescrire une valeur en disant « il faut 500 lux dans telles conditions » ou de prescrire justement une différence : par exemple en disant « il faut que la température de couleur change, que le niveau de lumière baisse » : on donne alors des fourchettes de valeurs sans donner la valeur initiale, tout dépend du projet.

PA : Dans le premier cas, la prescription est normative, et l'on ne peut qu'appliquer la norme. Dans le second elle est peut-être plus générative...

GC : Je ne dis pas que c'est universel, mais ça peut être une manière d'exprimer la mesure et de la rendre un peu plus créative, en laissant ouvertes des possibilités d'interprétation. Parce qu'une valeur différentielle, je peux encore la fabriquer, lui donner une forme, la placer à différents niveaux. Donc, c'est un type de mesure qui peut devenir important dans l'expression et la création d'une ambiance.

JPT : Est-ce que tu penses qu'il y a là un travail de recherche spécifique à faire sur ce type de mesure qui permet justement de qualifier des phénomènes ambiants ?

GC : Les critères qu'a présentés JJD dans son texte renvoient à ceux qui sont utilisés pour prescrire.

JJD : Pour prescrire, mais aussi pour vérifier, pour analyser.

GC : Peut-être. Parce que dans la notion de prescription, il y a les deux niveaux : le premier, où on va dire, par exemple, « il faut 500 lux pour lire dans telle salle de classe », et le second, où d'autres critères peuvent entrer en ligne de compte. Les éclairagistes le savent bien lorsqu'ils parlent de questions comme celle de l'homogénéité, etc. Peut-être que nous, de notre côté, on peut proposer d'autres indicateurs qui, eux aussi, soient quand même relativement quantifiables, ou du moins partiellement quantifiables.

La difficile adoption d'une norme par la communauté scientifique

JJD : Je pense qu'on a tenté certaines choses et que l'on peut encore en tenter d'autres au CRESSON *. Mais le problème est toujours le même : c'est qu'au delà de l'invention de nouveaux critères, indicateurs ou unités de mesure, il faut les faire passer dans la communauté scientifique pour qu'ils soient repris et compris et pour qu'ils servent. Il sort presque un nouveau décibel chaque année ! Les gens qui le sortent l'utilisent un peu, naturellement, et puis il tombe en désuétude parce qu'il n'est utilisé que par eux. Le travail qu'a commencé NR sur la notion de "temps de réverbération local" (nos propres pas qui sont entendus, ...), est sûrement une piste intéressante, au sein de notre labo. Mais si ça ne sort pas du CRESSON *, si personne ne se dit « c'est un vrai outil, ça peut permettre de cataloguer des choses, de définir des projets, d'établir des comparaisons avec d'autres endroits... », eh bien ça ne servira à rien. Donc, c'est possible, mais en même temps ce n'est pas si simple. C'est bien le problème de tous ces outils qui sont créés : le PMV il a fait son trou, le Décipole n'y arrive pas ; et puis, il y en a d'autres qui n'arrivent pas à sortir des tiroirs, soit parce qu'ils ne sont pas pertinents, soit parce qu'ils sont pertinents mais ne sont pas assez bien "vendus" par leurs auteurs.

PA : C'est vraiment très différent de ce qui se passe avec la notion d'effet sonore * au CRESSON *, finalement ! [rires]

JJD : Que nous avons tout de même réussi à faire sortir un peu ! Mais ce n'est pas une mesure justement !

PA : Alors, qu'est-ce qu'une mesure ?

JJD : Eh bien, dans son sens strict, c'est quelque chose qui apporte une valeur chiffrée, qui peut être refaite par n'importe qui, lequel dans les mêmes conditions va obtenir le même chiffre.

BA : Donc, pour qu'une mesure puisse faire référence, il faut qu'il y ait acculturation.

L'insensible acculturation du public aux critères de mesure

BA : Et le problème qu'on a, c'est qu'il n'y a souvent que les spécialistes de cette mesure ou de ce type de mesure qui sont "acculturés"...

JJD : Oui et non. On entend parler du CAC40 tous les jours. Je suis désolé, qui est-ce qui sait comment est construit le CAC40 ? Ou l'indice INSEE de la courbe du coût de la consommation, ou la météo... Il y a 20 ans, il ne serait jamais venu à l'idée de personne de parler de haute pression, de basse pression ou d'isobars à la télé. Maintenant ça fait partie du vocabulaire classique. Donc je pense qu'il y a aussi une forme d'acculturation qui peut diffuser dans le public. Le lumen, c'est un exemple typique. Les fabricants de lampes, pendant des années, n'étaient obligés d'indiquer que la puissance sur leurs ampoules (25 W, 60 W, 100 W, ...). Depuis le 1^{er} janvier 2000, ils sont contraints d'y ajouter le flux en lumens : maintenant, ils sont obligés de mentionner "lampe de 100W - 1000 lumens", ou "tube de 32W - 3600 lumens". Eh bien les gens commencent à s'acculturer, parce qu'à partir du moment où ils peuvent se dire « tiens, j'ai un truc qui consomme 3 fois moins et qui éclaire 3 fois plus », il ne font plus le même choix et le comportement du consommateur change. Donc, même s'il n'y a pas de connaissance scientifique de la définition de ces unités, je pense qu'il y a tout de même acculturation et que si ce n'est pas une façon de maîtriser la mesure, c'est tout de même une façon de la mieux comprendre.

JFA : C'est la dimension "communication" de tout outil de quantification : qu'il s'agisse de grandeurs extensives ou intensives, c'est quand même extrêmement économique de pouvoir dire « le terrain fait un hectare » ou bien « il y a un niveau en Leq de 58 dBA ». Ça suppose un minimum d'expertise, mais dès qu'on est dans le milieu, il y a une économie fantastique. Quantifier, c'est universaliser - et donc permettre un dialogue plus rapide sur des bases communes...

JJD : ... relativement communes, car elles peuvent être plus ou moins partagées : ton exemple est intéressant, parce que dire « ce terrain fait un hectare » à un agriculteur ou le dire à un citoyen, ce n'est pas du tout la même représentation du terrain.

Une utilisation "sociale" de la mesure est-elle possible ?

ML : J'ai écouté très attentivement, parce que je pensais aux conclusions que je dois faire pour une étude sur Roissy, qui touchent directement la question de la métrologie. On y a bien vu que d'un côté les gens veulent du décibel, parce que le décibel au moins, ça leur parle un peu, mais de l'autre, ça désigne une réalité qui n'est pas la leur, puisqu'il y a des moyennes, des pondérations, des heures de mesure, ... Ma question est la suivante : est-ce qu'il y a une utilisation sociale possible de ces mesures ? Dans la transmission qu'on en fait, est-ce qu'il faut informer davantage, donner plus de contenu, provoquer une meilleure appropriation des indices... ? C'est une question très vaste, mais la mesure, c'est aussi cela : il y a des scientifiques qui produisent des résultats, et puis il y a ce qu'on en fait au niveau de leur utilisation sociale. Est-ce que l'utilisation de la norme pourrait aller dans le sens de la paix sociale aussi ?

JJD : Les mesures autour des aéroports sont vraiment typiques de tous les détournements possibles et imaginables !

ML : Oui, les gens en sont très conscients mais en même temps, ils ont envie d'une mesure "objective" entre guillemets, c'est-à-dire d'avoir un minimum de langage commun. Or on est incapable de fournir un minimum de connaissance pour fonder ce langage commun...

JJD : Oui, sauf si on simplifie ! Parce que, de plus en plus, le Leq devient l'outil basique de mesure autour des aéroports, alors qu'il n'était pas question de parler de ça il y a 10 ans : c'était un indice très compliqué, justement que seules les autorités aéroportuaires étaient capables de maîtriser. Donc, si on se met à parler d'un indice relativement simple, eh bien les gens vont comprendre très vite.

ML : Mais c'est aussi un outil dangereux, puisque ça permet par exemple à *Aéroports de Paris* de dire « les gens qui ont la route à côté de chez eux ont beaucoup plus de bruit qu'à-côté des aéroports »...

JJD : Exactement, dès qu'on simplifie, on est moins pertinent. C'est toujours le problème. Et là je n'ai pas de réponse, vraiment pas.

Mesure désirable, mesure indésirable

PR : Et dans ce cas-là, tu risques peut-être de tomber dans le piège qui consiste à penser que « pour compter il faut compter » ou que, pour qu'un raisonnement puisse être pris en considération, il faut effectivement passer par la mesure ; il faut faire appel au quantitatif pour résoudre une question – comme pour vendre une idée politique (et l'on connaît la valeur des statistiques à ce niveau). Dès lors, on peut se demander si le seul fait de se poser la question de l'usage social de la mesure ne revient pas à se soumettre ou à accepter tacitement cette espèce de "dictature de la mesure".

NT : Mais il y a quand même aussi l'effet inverse. ML et PA, quand vous avez fait l'étude sur les plaintes de voisinage, vous avez bien montré qu'au niveau de l'isolation, les gens ne se plaignent pas tant quand les niveaux sonores sont dépassés que quand leurs voisins vivent différemment. Dans ce cas, c'est la mesure qui aide à mieux comprendre le fait social. C'est-à-dire que l'usage de la mesure peut servir à relativiser le qualitatif. Le rapport est à double sens.

JJD : Oui, exactement.

PA : "Usage de la mesure", il y a peut-être un "désir de la mesure", on devrait relire les théories du désir... Et que ce soit du côté de la vie quotidienne de l'utilisateur ou du côté de la déontologie de l'expert, la mesure peut être désirable ou indésirable. Je veux dire que l'usage de la mesure ou le recours à la mesure peut être désirable ou indésirable.

JFA : Je trouve que l'histoire du CRESSON* sur le sonore restitue précisément ce double mouvement. Dès le début, on a, au nom du *in situ*, relativisé la mesure en combattant fermement ceux qui disaient « tout travail qui n'est pas fondé sur le dB, dès le départ, n'a aucune valeur ». Donc d'une part on a combattu, chez tous nos collègues et en particulier chez certains ingénieurs, l'idéologie de "la mesure comme point de vue essentiel". Et, en même temps, on a utilisé la mesure, en essayant de la remettre à sa place et de dire : « la mesure, pour nous, n'est qu'un instrument parmi d'autres ».

De la mesure "classique" à la mesure "contextuelle"

JJD : De plus en plus je me demande si on ne s'achoppe pas sur un problème de vocabulaire. Parce que quand on emploie le terme de "mesure", on a tout de suite les connotations d'universalité, de répétitivité, de simplicité, et du coup d'une certaine pauvreté. Alors que ce qu'on essaye de mettre au point est au contraire d'une grande complexité : ce n'est surtout pas pauvre, c'est singulier, et en même temps c'est non répétitif au possible. Est-ce qu'il faut encore parler de mesure ? Est-ce qu'il ne vaudrait pas mieux parler, par exemple, d'"analyses acoustiques personnalisées", pour dire « attention, on n'a pas fait de la mesure au sens de la mesure classique, mais on a fait autre chose », qui est adapté à cette situation et à ce contexte-là.

PA : Une mesure contextuelle !

HT : Il y aurait le terme "description physique" peut-être...Parce qu'il y a quand même la dimension physique, matérielle et objectale des choses qui reste déterminante.

JJD : Peut-être. Et en plus, on a la complexité supplémentaire qu'il y a toujours du mouvement dans nos analyses des phénomènes d'ambiance. Et que même les me-

sures qui soit disant sont en mouvement se soldent souvent par du faux mouvement, du pas à pas, du discontinu, de l'itératif. Ce sont rarement des mesures qui sont réellement prises en continu, même si, avec l'informatisation, on y arrive petit à petit mais ça reste encore très compliqué au dépouillement... Donc je pense que le terme de "mesure" devient presque caduc dans ce qu'on est en train d'essayer de mettre au point. Et en même temps, je ne sais pas quoi mettre à la place...

Les apports potentiels de la "mesure immergée"

JPT : Cela nous amène peut-être à la proposition de NR. Quand tu parles de "mesure immergée", je n'ai pas exactement compris s'il s'agissait de mesures effectuées sur l'enregistrement ou s'il s'agissait de faire des mesures *in situ*, avec de la foule, pendant l'enregistrement.

NR : Pour moi, ce sont les deux versants d'une même démarche en fait. Dans ce cas, pour des raisons pratiques, c'était plus facile d'analyser les enregistrements en laboratoire, mais on peut imaginer des systèmes où on fasse des mesures avec du public.

JPT : Tu as utilisé les deux ?

NR : Il y avait à la fois la mesure des critères de l'acoustique des salles, mesure "classique" puisque je l'ai faite de nuit, c'est-à-dire pas du tout immergé, et l'analyse acoustique des fragments sonores enregistrés, qui étaient donc une trace de cette immersion. Mais je n'ai pas pu faire de mesures de critères de l'acoustique des salles avec du public. Il faut dire que ça pose quelques problèmes puisqu'il faut faire un bruit impulsif relativement fort... Mais pour moi, c'est la même démarche.

JPT : Si on essaye de pousser un peu ce que tu dis sur les mesures immergées... Est-ce que c'est simplement le fait de faire des mesures *in situ* qui change la méthodologie ? Ou est-ce que l'idée de "mesure immergée" engage une façon d'analyser différente, des outils différents, des indices différents ou des mesures différentes ?

NR : Les deux.

GC : Qu'est-ce que tu mesurerais ?

JPT : Est-ce que tu utiliserais le même type d'instrumentarium acoustique ou pas ?

NR : On ne va peut-être pas tout réinventer... Mais je pense que l'idée de pouvoir compter, voire caractériser le nombre d'événements sonores qui arrivent à l'oreille d'un auditeur, évaluer leurs distances relatives, ou distinguer des plans sonores avec des logiciels susceptibles d'extraire ces différents plans, ça serait une réelle nouveauté. On pourrait imaginer en plus une représentation dynamique de cette expérience sonore qui montrerait la quantité d'événements et leur distance relative au cours d'un parcours...

JJD : On retombe sur la question de la mesure en mouvement.

NR : ... On pourrait peut-être commencer à caractériser de façon un peu plus précise un parcours, ou à l'inverse une situation stable dans un environnement dynamique.

La place de l'utilisateur dans la mesure immergée

MB : Qu'est-ce qui fait le caractère "immersif" de la méthode ? Est-ce l'utilisateur ? En quoi la mesure immergée est-elle immersive ?

NR : Le niveau sonore dans la salle ne m'intéresse pas, le niveau sonore perçu par un utilisateur qui la parcourt m'intéresse. La perception du temps de réverbération de la salle complète ne m'intéresse pas, le "temps de réverbération local", c'est-à-dire le TR de la zone qui entoure l'utilisateur (qui peut correspondre à la salle ou qui peut être plus petite) m'intéresse. Le sujet est donc au centre de la mesure.

MB : C'est ce qui fait l'immersion. On peut dire aussi dans ce cas que le sujet et l'instrument de mesure travaillent en coopération.

NR : Oui, je pense.

JPT : D'où l'idée des "dosimètres" ?

NR : Ca n'a rien de révolutionnaire... Dans cet esprit-là, on peut inventer des tas de systèmes. On peut mettre un micro-cravate, on peut imaginer que derrière il y ait une batterie d'outils plus performants que la simple mesure du niveau statistique ou de la répartition des niveaux sonores dans le temps. Mais j'ai aussi le sentiment que l'on quitte le domaine strict de la mesure, parce que ça n'implique pas seulement du matériel nouveau, mais aussi des protocoles et des façons de penser la mesure qui la rendent reproductible et partageable. Et quand on regarde le critère européen qui passe, le Lden, comme tu le disais, JJD, plus qu'une seule valeur pour l'ensemble de la journée, on est quand même assez loin de cette tendance-là !

Il n'y a pas de mesure non immergée

NT : J'ai un peu de mal avec les différenciations que vous faites, NR et JJD, entre ces deux types de mesure ou avec la délimitation de leur champ : j'ai du mal à voir vraiment la différence entre ce qui serait appelé une mesure immergée et ce qui ne le serait pas. Je comprends bien qu'il y a des mesures qui peuvent être faites avec public ou sans public, qui peuvent être faites avec la personne qui marche ou avec celle qui tient l'appareil de mesure, mais je ne vois pas trop la différence fondamentale... Je vois bien que les mesures sont différentes, mais pour moi, cela reste "des mesures". Qu'on aille dans une pièce vide ou dans une pièce pleine, ça ne me paraît relever d'une épistémologie différente. Je comprends bien que les résultats s'interprètent différemment et que les valeurs que l'on trouve soient différentes, mais dans les deux cas on est immergés. Et si ce ne sont pas des mesures immergées, c'est que ce sont des mesures sur maquettes numériques, parce qu'elles ne sont pas faites *in situ* – c'est que ce sont, pourrait-on dire, des mesures "embarquées" plus qu'"immergées". Donc, je ne vois pas trop la rupture fondamentale que vous semblez faire entre les deux types de mesures.

GC : Si j'ai bien compris, c'est le caractère reproductible qui fait la différence, puisque dans la mesure immergée, tout dépend de l'événement, alors que dans la mesure classique, reproductible, tu maîtrises les événements.

NT : Eh bien justement ! Est-ce que ça non plus ce n'est pas un leurre ? Est-ce que vraiment on mesure les événements ? Est-ce qu'on les maîtrise parce qu'on fait des mesures dans un hall ? On a évidemment beaucoup plus de chance d'avoir les mêmes valeurs quand il n'y a personne que quand il y a du public tel jour et du public tel autre jour. Mais ça ne me paraît pas être une différence radicale qui touche le type de mesure.

Vers un usage renouvelé de la métrologie

JFA : Ce qui rend le climat actuel favorable au questionnement sur la mesure, c'est le changement d'objet, qui implique un changement de méthodologie. Nous travaillons sur la notion d'ambiance, d'autres sur les objets virtuels. Comment peut-on aborder ces nouveaux objets par la mesure ? Qu'est-ce qu'une attitude pluridisciplinaire qui utilise de la mesure sans la "substantialiser" ou l'hypostasier ? Ou encore : comment utiliser la mesure sans le leurre que soulignait NT, c'est-à-dire, sans prendre la mesure pour le fait ? Dans l'usage courant, il y a la mesure prise comme caution scientifique pour les non-spécialistes de la physique : on fait quelques mesures pour avoir l'air sérieux ; dans la démarche pluridisciplinaire, ce sont des choses qu'on voit. On peut remarquer à l'inverse la concession du "quantitativiste" qui dit « je vais prendre du qualitatif, on va un peu humaniser notre approche... » ; dans les milieux de l'environnement, c'est une attitude très commune aussi.

Et puis, il y a une troisième attitude, qui me semble être celle du CRESSON * et celle que nous devons continuer à développer, qui consiste à dire : « Il y a une parité de droit entre les approches quantitatives et qualitatives de l'environnement ou des ambiances ». On invente des notions, on invente des méthodes... Est-ce que "la mesure" ou plutôt l'approche quantitative peut trouver une espèce de nouveau régime actuelle-

ment ? Dans l'approche pluridisciplinaire des ambiances, quel type d'invention est possible à partir de la Mesure ? Est-ce que, dans l'approche des ambiances, on peut avoir des apports créatifs "du côté de la quantité", pour renverser un peu ce long parcours qui nous a fait mettre le quantitatif en situation critique ?

JJD : NR donne des pistes, par exemple à travers cette notion de durée de réverbération locale. En même temps, comme je l'ai dit, je crois qu'il faut essayer d'oublier ce terme "mesure", qui fait trop référence à ces notions de scientisme, de répétitivité, d'objectivité, etc. Cela nous permettrait d'être plus souples par rapport aux physiciens, parce qu'on ne serait pas mis en porte-à-faux par rapport à eux. Et en même temps on pourrait montrer que ce qu'on cherche, ce n'est pas tant un chiffre (avec une répétitivité et une précision absolues) que des données, qui nous permettent d'étayer certaines théories, d'aller plus loin, de donner des ordres de grandeur, de repérer des décalages, des basculements, des évolutions, dans le temps ou dans l'espace peu importe. Donc, « quel type d'inventions ? »... C'est peut-être moins produire de la nouveauté en soi (inventer de nouvelles mesures, de nouveaux appareils, ...) que se repositionner en proposant une nouvelle exploitation des façons de faire existantes.

La contextualisation de la mesure et la redécouverte des ordres de grandeur

NR : Pour aller dans ce sens, la notion de "*physique contextuelle*", telle que je l'ai détournée, est pour moi un moyen de désigner le fait que c'est le terrain qui donne le cahier des charges à la mesure ! D'abord aller sur le terrain, observer ce qui se passe et voir quelle est le type de mesure existante ou à inventer qu'il serait intéressant de mettre en œuvre. Alors, peut-être faudrait-il appeler cela "mesure qualitative" pour se démarquer du champ de la mesure au sens strict, puisque ces mesures ne seront pas forcément répétitives, seront liées à une situation, à un terrain ou à une catégorie de terrains en tout cas. Sinon, en termes d'invention pure, je me sens court, il faut travailler...

JJD : Je crois quand même qu'il y a invention possible à partir de la notion de précision : on peut peut-être justement réinventer des méthodes qui s'affranchissent complètement de cette obligation de la physique.

Les sonomètres, par exemple, nous donnent des dixièmes de dB actuellement, alors qu'on sait très bien que le décibel tout seul est à peine entendu et que 3 voire 5 dB nous suffirait amplement dans le domaine de l'environnement *. On devrait devenir capables de dire aux physiciens expérimentalistes qu'en tant qu'acousticiens de l'environnement, on n'a pas besoin d'une mesure parfaite, mais qu'on veut pouvoir garantir les 5 dB. On devrait pouvoir leur dire « même si notre procédure n'est pas strictement codifiée, ni répétitive, elle est valable et irréprochable dans cet ordre de grandeur ; ce qui nous intéresse pour notre travail, c'est l'ordre de grandeur des variations acoustiques et non la précision du chiffre absolu ». Même chose pour la durée de réverbération : est-ce qu'on la veut au dixième de seconde ou à la seconde ? Qu'est-ce qui nous intéresse ? Est-ce de savoir qu'un hall de gare c'est 3,2 secondes, ou est-ce que c'est de savoir que c'est 5 secondes ou 1 seconde ? Et à partir de là, on peut mettre en œuvre des procédures qui tiennent compte du fait qu'il y a du public, des variations sonores, des émergences ou des transformations dans le passage d'un espace à un autre, etc.

Deux inventions de Leipp : le sonagramme et l'intégrateur de densités spectrales

JJD : Sinon, du côté des instruments de mesure, je repense à deux... inventions. Le sonagramme, qui avait été développé par les Américains au début, puis rapidement repris par Leipp et par son équipe dans les années 30-50, qui fonctionnait avec ces systèmes de tambours... Dans le sonagramme d'origine, le périmètre du tambour faisait...

JFA : deux minutes d'enregistrement !

JJD : Exactement : en fonction de la vitesse de rotation du tambour et du stylet en face, on n'avait droit qu'à un temps limité d'enregistrement.

GC : Oui, c'était court...

JJD : Et plus le papier était brûlé, plus c'était intense... Ça c'était le sonagramme d'origine. Ce sonagramme a obtenu une seconde vie magistrale avec l'informatique. Maintenant, on a les dérouleurs qu'on veut, ... les couleurs qu'on veut, ... Le sonagramme, qui était quand même réservé à quelques privilégiés, a trouvé une nouvelle vie grâce à l'informatique. C'est donc l'exemple typique d'une invention qui débouche.

Et puis à l'inverse, il y a une autre invention de Leipp, dont on n'entend absolument plus parler aujourd'hui, ce qu'il avait appelé "l'intégrateur de densités spectrales". Il était pourtant très astucieux, parce qu'il faisait un découpage en fréquences tout bête, dans lequel il y avait des plages qui étaient plus étalées que d'autres, parce que l'oreille est plus sensible dans ces fréquences-là. Donc l'appareil automatiquement fait l'analyse, différencie des plages de fréquences, avec des largeurs différentes selon qu'on est dans la bande où l'oreille est sensible ou dans celle où elle est moins sensible. C'était, à mon sens, une très bonne invention, et au fond elle n'a pas réussi à percer...

GC : C'est vrai que ce serait intéressant, du coup, de faire une espèce de répertoire des outils de mesure actuels ou anciens, existants ou disparus. Il y a sans doute des choses à trouver, peut-être à redécouvrir...

JJD : Dans le domaine de l'Acoustique, l'apparition - disparition d'outils, c'est annuel !

GC : Alors jusqu'où faut-il aller ?

A propos des usages du sonagramme

CR : Je voudrais rebondir sur le sonagramme, parce que c'est un outil qui permet de superposer une analyse quantitative à une analyse qualitative. Moi, je l'ai expérimenté avec un outil que le GRM * a mis en place et qui m'a permis d'associer une analyse perceptive justement à la mesure sonographique. Certaines fois, le sonagramme, qui fait une analyse purement quantitative, en fréquences, nous permet d'aller plus loin dans notre perception d'un fragment sonore. Le GRM * l'a perfectionné pour l'analyse de la musique, l'idée pourrait être d'aller vers un perfectionnement semblable pour des environnements sonores * qui ont d'autres caractéristiques. Il y a là un moyen de superposer deux analyses, de les mêler et peut-être d'inventer des signes qui permettent de communiquer justement un rapport qualitatif-quantitatif.

HT : Pour prolonger, ce que je trouve intéressant dans ton travail, c'est que l'on est peut-être moins directement dans l'ordre de la mesure que dans celui de la présentation. L'intérêt de l'outil, c'est moins la mesure quantitative que la présentation quantitative de données qualitatives. Tout le travail que tu as fait de traduction du sonore en graphes et en graphiques relève de cette perspective, qu'il faudrait poursuivre. C'est dans la mise en scène des éléments d'information à transmettre que c'est le plus intéressant...

GC : C'est bien une traduction...

HT : Justement. Là on est moins dans l'ordre de la mesure que dans celui de la restitution, de la transposition...

PA : ... et de l'expression.

Anciens outils, nouveaux critères

NR : Il y avait aussi l'idée que tu donnais, GC, de produire une mesure qui soit repérée à l'échelle de la perception.

GC : Je parlais de "densité sonore" ou de choses comme ça... Dans une visée qualitative de l'Ambiance, je crois que l'enjeu doit être en effet de traduire par des outils quantitatifs des phénomènes qualitatifs, ou en tout cas qui peuvent être référés à de la perception qualitative ou à de l'observable. D'une part, il y a certains critères de mesure qui peuvent être modifiés. Par exemple : certaines valeurs rythmiques dans l'environnement...

ronnement sonore * peuvent constituer des régularités qualitativement caractéristiques d'un trajet, ou même d'une configuration sonore statique. Ensuite, on peut penser à certains effets sonores * qui sont relativement quantifiables, comme l'effet de coupure * : on disait « c'est une chute d'intensité », d'accord, mais cette chute d'intensité peut être faible, elle est en rapport avec le temps de chute, etc. Enfin il y a des critères de qualité sonore que nous avons nommés ou définis, qui sont sans doute mesurables. De la même manière, dans l'environnement lumineux, travaillant sur l'idée des formants, je me demande aussi comment est-ce que je peux quantifier cette unité de répartition de structures lumineuses par exemple ? Là, il y a sans doute une invention de la mesure possible dans le domaine, qui consiste moins à inventer des unités ou des appareils nouveaux qu'à utiliser des outils dont on peut disposer et à des échelles appropriées : je trouve en effet cette question vraiment importante, ce n'est pas la précision absolue mais un ordre d'évaluation qui doit être en rapport avec l'ordre de ce que nous sommes capables d'intégrer du point de vue perceptif.

NR : Je ferais bien une différence entre les mesures et le traitement de ces mesures. Dans le visuel, on ne va pas réinventer le lux ou une autre unité de mesure, mais on va travailler sur les modes de représentation de la mesure, par exemple pour faire apparaître un formant * visuel, tel qu'il existe dans ce couloir-là. On ne va pas réinventer un niveau sonore, mais on va orienter la recherche vers un traitement particulier de l'ensemble des niveaux sonores qui nous permettra de décrire un rythme, une densité, ou au contraire un vide, ou la distance entre deux plans sonores, ... Donc c'est plutôt dans le traitement des mesures que dans la mesure elle-même que l'on peut être inventif.

Mesure qualitative ou mesure psycho-physique ?

JFA : La question finalement serait : « Une mesure qualitative est-elle possible ? » Je ne dis pas une "qualification de la mesure" mais bien une "mesure qualitative". Est-ce que poser cette question a un sens ? Ou est-ce que c'est une question pour rien ?

De façon plus restreinte, dans des domaines comme celui des odeurs ou des basses fréquences, on a des évaluations quantitatives de phénomènes physiques, mais on n'a pas de corrélation entre les quantités physiques et les réactions perceptives, on n'a pas d'équivalent du décibel ou du lux. Est-ce qu'il faut souhaiter un décipole, ou mieux que le décipole ? Est-ce qu'il faut souhaiter un décibel des basses fréquences ? Ou est-ce que, pour finir, l'état du savoir laisse justement une marge d'incertitude quantitative intéressante à préserver ?

SB : Dans le cas des odeurs, en tout cas, tous les scientifiques que je rencontre le souhaitent... Et je pense que c'est effectivement souhaitable, parce que... c'est quand même une base nécessaire : tant qu'on ne dispose pas de ce genre d'outil, les gens font tout et n'importe quoi, peuvent interpréter n'importe comment... On commence à être un petit peu plus rigoureux... Je pense que d'ici une dizaine d'années, on aura quelques appareils qui proposeront une mesure olfactive, et on pourra peut-être commencer à faire des comparaisons. Ça n'empêche pas d'avoir une approche qualitative par ailleurs.

L'imprécision de la mesure au service de la conception

JJD : La mesure, en elle-même, n'est rien. C'est l'interprétation qui compte. Le but de la mesure, c'est, pour celui qui l'a faite ou pour celui qui l'utilise, de la rendre claire et de prendre position. Si ces deux actions, *in fine*, ne sont pas menées à bien, la mesure en elle-même n'a aucune utilité, elle est brute. Et si elle est brute, elle sera utilisée par quelqu'un d'autre qui la rendra claire différemment, qui prendra une position différente. C'est là que se joue la mesure, en fait.

PA : Améliorer la mesure, ce n'est donc pas la rendre plus juste, mais plus claire. Non pas accroître la précision de ce qu'elle représente (puisque de toutes façons elle est fautive), mais la compréhension de ce qu'elle exprime puisque de toutes façons elle doit être interprétée.

JPT : Donc il y a une question d'interprétation de la mesure.

GC : Ce serait d'autant plus important que l'on vise le monde de l'architecture et de la conception, dans lesquels ces outils de mesure ne sont pas toujours compris et intégrés. Des outils qui seraient plus compréhensibles et plus à même de traduire du qualitatif auraient en plus un impact intéressant du côté de la conception.

PA : C'est vrai. Et c'est pour ça que je trouve que la capacité des appareils ou des méthodes à faire des mesures différentielles suivant les contextes, est particulièrement importante. Alors, cette capacité instrumentale peut être mise en rapport avec la perception, "l'intégrateur de densités spectrales" où effectivement on a une perception accrue dans telle bande de fréquence... Mais on peut aussi la mettre en rapport avec des objectifs de conception : « Je voudrais générer tel effet * sensible dans tel cheminement ou dans tel parcours... », ou bien « je travaille sur telle configuration, qui devient extrêmement locale », il me faut une densité de mesures plus forte, ou bien d'autres mesures spécifiquement ciblées par rapport à cet objectif.

Il me semble que cette souplesse-là est très concrète : touchant à la fois les méthodes de mesurage, les appareils de mesure et l'interprétation des valeurs obtenues, elle constitue un vrai objectif de recherche, qui est à la fois théorique, pragmatique et opérationnel.