

DES DISPOSITIFS INTELLIGENTS AMBIANTS POUR SOUTENIR LA LONGÉVITÉ

Les progrès réalisés dans de nombreux domaines (la connaissance médicale, l'alimentation, l'amélioration des conditions de travail, de vie...) ont contribué à l'accroissement de la longévité des êtres humains.

Désormais, ce sont les technologies de l'information et de la communication qui sont appelées à participer à l'allongement de la durée de la vie humaine grâce, notamment, à la démocratisation des outils de diagnostic médical et à la délivrance des thérapies à domicile.

Si l'apport des TIC au travers du concept de *Health Smart Homes* (*Habitats intelligents en matière de santé*) est indéniable, leur généralisation pose des problématiques d'ordre technique (les difficultés que pose l'exploitation de quantités importantes d'informations) et éthique (l'intrusion des technologies dans le domicile des personnes suivies).

Par **Norbert NOURY***, **Bertrand MASSOT****, **Claudine GEHIN***** et **Eric Mc ADAMS******

* Professeur à l'Université Lyon 1, où il enseigne l'électronique et les dispositifs médicaux.

** Maître de Conférences à l'Institut des Nanotechnologies de Lyon (INL) au sein de l'équipe Capteurs Biomédicaux et enseigne la Physique à l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon (INSA Lyon).

*** Maître de Conférences à l'Institut National des Sciences appliquées de Lyon, où elle enseigne l'électronique au département « Génie électrique ».

**** Docteur en Génie Biologique et Médical diplômé de l'Université de Leeds (Royaume-Uni).

INTRODUCTION

La longévité des êtres humains s'est accrue plus rapidement dans la période récente. Les projections démographiques prédisent qu'à la moitié du XXI^e siècle un Terrien sur trois sera âgé de plus de 65 ans. Cet excellent résultat a pu être obtenu grâce aux progrès réalisés dans les quatre domaines sui-

vants : la connaissance médicale, la qualité et la diversité de l'alimentation, l'amélioration des conditions de travail et l'amélioration des conditions de vie. Dans ce dernier domaine, celui de l'amélioration de notre cadre de vie, la première technologie facilitante a été l'électricité, ou plus exactement sa distribution dans nos logements, qui a permis de disposer d'une énergie propre et d'une utilisation facile pour se chauffer, pour cuisiner, pour conserver les aliments dans les réfrigérateurs, mais aussi pour faciliter l'exécution des tâches ménagères (machine à laver, aspirateur). Plus récemment, ce sont les technologies de l'information et de la communication (les TIC) qui ont stimulé le développement de nos sociétés modernes. Ces TIC permettent déjà aux patients d'être plus soucieux du maintien de leur propre santé, ceux-ci étant mieux informés et donc plus impliqués tant dans la mise en œuvre de leur traitement thérapeutique que dans leur hygiène de vie. Il est maintenant établi que l'observance, comme la prévention, sont des facteurs d'amélioration de la santé, et donc de réduction des coûts. Nous pouvons désormais formuler l'hypothèse que les TIC vont également participer à l'allongement de la durée de la vie humaine grâce, notamment, à la démocratisation des outils de diagnostic médical et à la délivrance des thérapies à domicile, mais aussi grâce

au contrôle de la qualité de l'environnement ambiant dans les habitations et sur les lieux de travail.

LA COLLECTE DE DONNÉES DE SANTÉ VIA LES TIC

L'application des télécommunications dans la pratique médicale a démarré dans les années 1960, lorsque les progrès techniques ont permis la démocratisation de ces moyens. À cette époque, l'électrocardiogramme est le premier signal à contenu médical à être transmis *via* le réseau téléphonique commuté public (RTCP) [1]. Le concept de suivi médical à distance, *via* la télésanté, apparaîtra dans les années 1990, avec les nouvelles possibilités techniques offertes par la télématique à l'appui de la télémedecine. À cette époque, déjà, le rythme cardiaque foetal pouvait être transmis au médecin, pendant la grossesse, depuis le domicile de la future mère [2]. De même, toujours au domicile du malade, des périphériques connectés au réseau téléphonique commençaient à être utilisés par des patients diabétiques insulino-dépendants [3], ou encore un périphérique intelligent du terminal Minitel, le Biomaster [4], permettait de recueillir des données médicales et de les transmettre

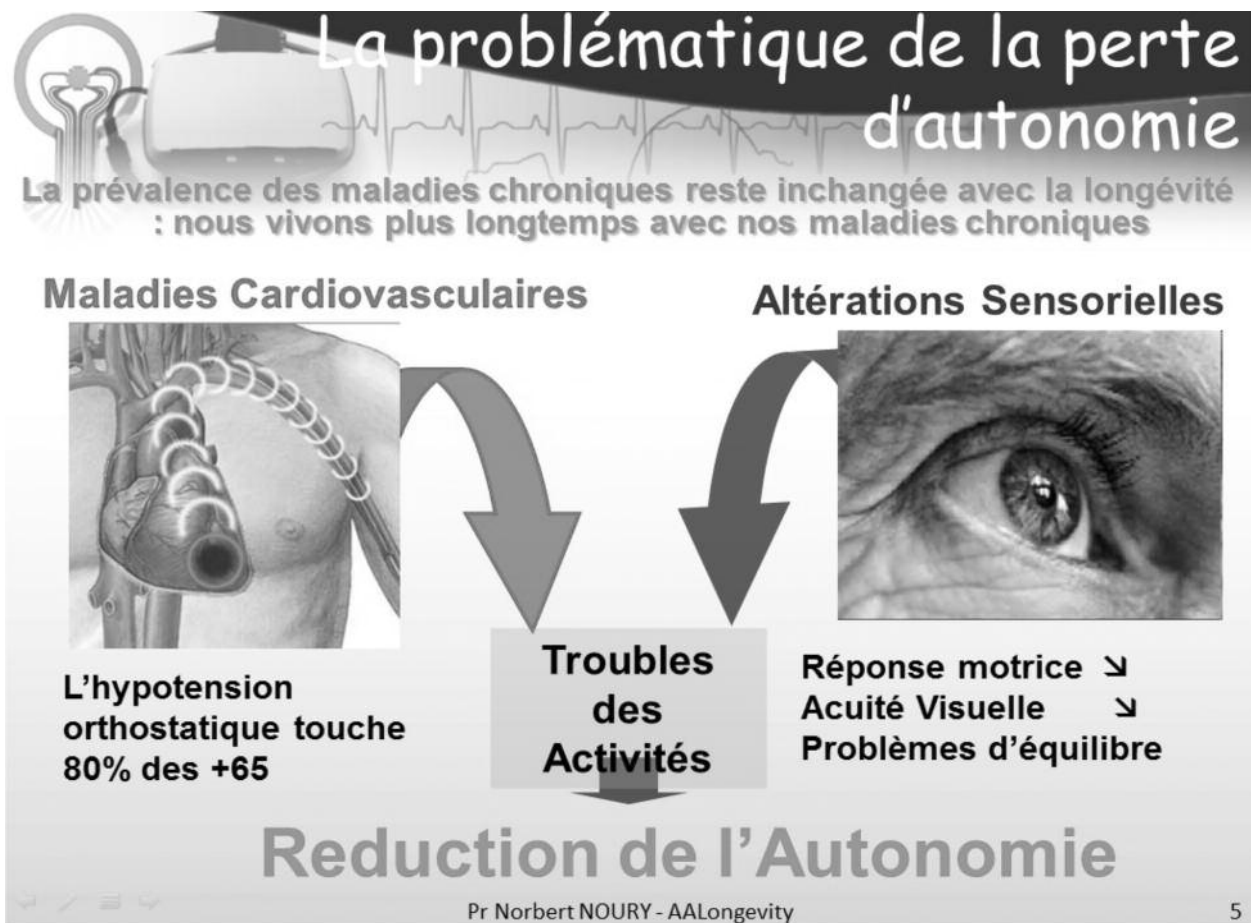


Figure 1 : Par un effet du vieillissement, nous vivons plus longtemps avec nos maladies chroniques.

automatiquement, *via* un serveur Videotex, vers une base de données distante [5]. La télématique médicale ouvrirait la voie à la surveillance de divers paramètres de certaines maladies chroniques et l'on commençait à entrevoir les économies d'échelle qu'elle permettrait. Mais le besoin de télésurveillance de la santé des personnes âgées et fragiles est apparu plus récemment, résultant du constat fait de l'accroissement de la longévité des populations.

Or, en dépit de l'allongement de la durée de la vie, la prévalence des maladies chroniques demeure inchangée. Pour résumer, les gens vivent plus longtemps avec leurs pathologies (voir la Figure 1 de la page précédente). Cela complique d'ailleurs le métier du gériatre, qui devient le spécialiste de toutes ces pathologies chroniques et de leurs comorbidités.

Le vieillissement n'est pas une pathologie en soi, mais les personnes âgées sont susceptibles de souffrir de multiples maladies chroniques liées au vieillissement. Beaucoup de ces affections résultent de déséquilibres pathologiques, l'organisme d'une personne âgée perdant sa capacité de contrôler certaines des fonctions de régulation de ses grands systèmes homéostatiques. Ainsi, le suivi de certains paramètres spécifiques devient particulièrement pertinent dans le cas de per-

sonnes âgées : une perte de poids importante peut indiquer le développement d'une tumeur, la baisse de l'indice de masse corporelle est un signe de dégénérescence musculaire, la déshydratation peut avoir des conséquences létales pour un sujet fragilisé. Bien d'autres paramètres ne sont pas encore accessibles, comme la nociception, le bien-être ressenti ou le niveau de socialisation. Au contraire, si l'on sait bien les utiliser, certaines informations disponibles peuvent apporter des indices de la vitalité sociale d'un sujet (durée des communications téléphoniques, temps passé à converser sur le seuil de la porte d'entrée de son domicile).

Il est indiscutable que l'on a tout intérêt à collecter des informations sur les paramètres physiologiques du sujet dans son environnement naturel et sur le long terme. Les chercheurs animaliers le pratiquent déjà en routine dans le cas du suivi des animaux sauvages dans leur environnement naturel. On entrevoit même le potentiel de découvertes médicales que permettraient d'immenses bases de données physiologiques recueillies sur de longues périodes et sur de larges cohortes. Ces données constitueraient aussi une mine d'or pour les épidémiologistes (voir la Figure 2 ci-dessous).

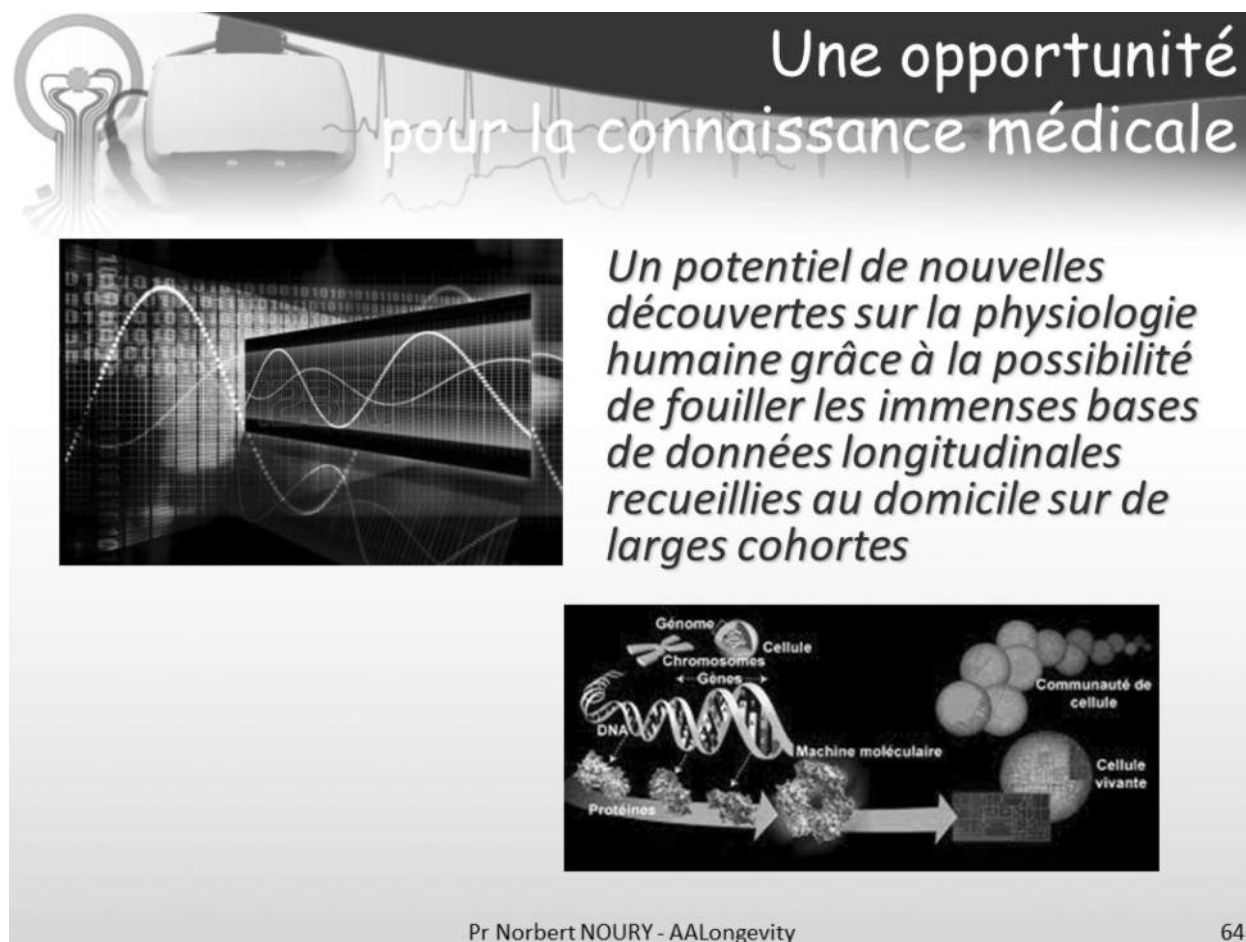


Figure 2 : Les immenses bases de données physiologiques recueillies sur de longues périodes et de larges cohortes constitueraient une mine d'or pour les épidémiologistes et les chercheurs en santé publique.

Mais on a découvert que l'on peut aussi détecter des ruptures dans l'état de santé d'un sujet en analysant ses mouvements et ses activités quotidiennes. En effet, il y a une forte corrélation entre l'activité physique régulière et l'homéostasie, qui est la capacité de maintien de la stabilité interne du corps face aux agressions extérieures. Le physiologiste Claude Bernard avait démontré qu'un dérèglement de l'homéostasie se traduisait par des manifestations pathologiques. Parmi les réactions naturelles de l'être humain à son environnement, on trouve tous les mouvements qu'il va devoir effectuer dans sa vie quotidienne. Se lever le matin pour s'engager dans une nouvelle expérience de vie, accomplir ses soins personnels (toilette, prise de nourriture), sortir de chez lui pour participer à la vie sociale et à sa vie professionnelle. En particulier, on mesure déjà l'autonomie d'un sujet âgé à sa capacité à effectuer de façon autonome les opérations de base de sa vie quotidienne : se mouvoir (du/vers son lit), s'asseoir sur une chaise/ se lever, se déplacer dans son environnement quotidien, faire sa toilette, satisfaire à ses besoins naturels, etc. Ainsi, il y a une forte corrélation entre l'homéostasie chez une personne, son activité et son autonomie (voir la Figure 3).

DE NOUVELLES FONCTIONS SANITAIRES ASSURÉES PAR LES SMART HOMES

Comme les sujets âgés ne souhaitent pas particulièrement renoncer au cadre familial de leur domicile pour entrer dans des institutions spécialisées, l'idée est venue tout naturellement de collecter des informations sur leur santé et sur leur bien-être depuis leur domicile en l'équipant de capteurs incorporés. On peut même y installer certaines machines thérapeutiques communicantes. Le concept de *Health Smart Homes*, d'« Habitats intelligents en matière de santé » était né [6].

Les recherches et les développements ont été nombreux dans le domaine des *Smart Homes* pour la santé, en raison de leur fort impact sociétal. C'est aussi un domaine qui offre un champ d'application attractif pour les chercheurs et les ingénieurs qui maîtrisent des domaines de recherches qui vont des capteurs aux interactions homme-machine, en passant par le traitement du signal et des images, et l'ingénierie de la communication. Comme les premières recherches étaient motivées par le vieillissement des populations,

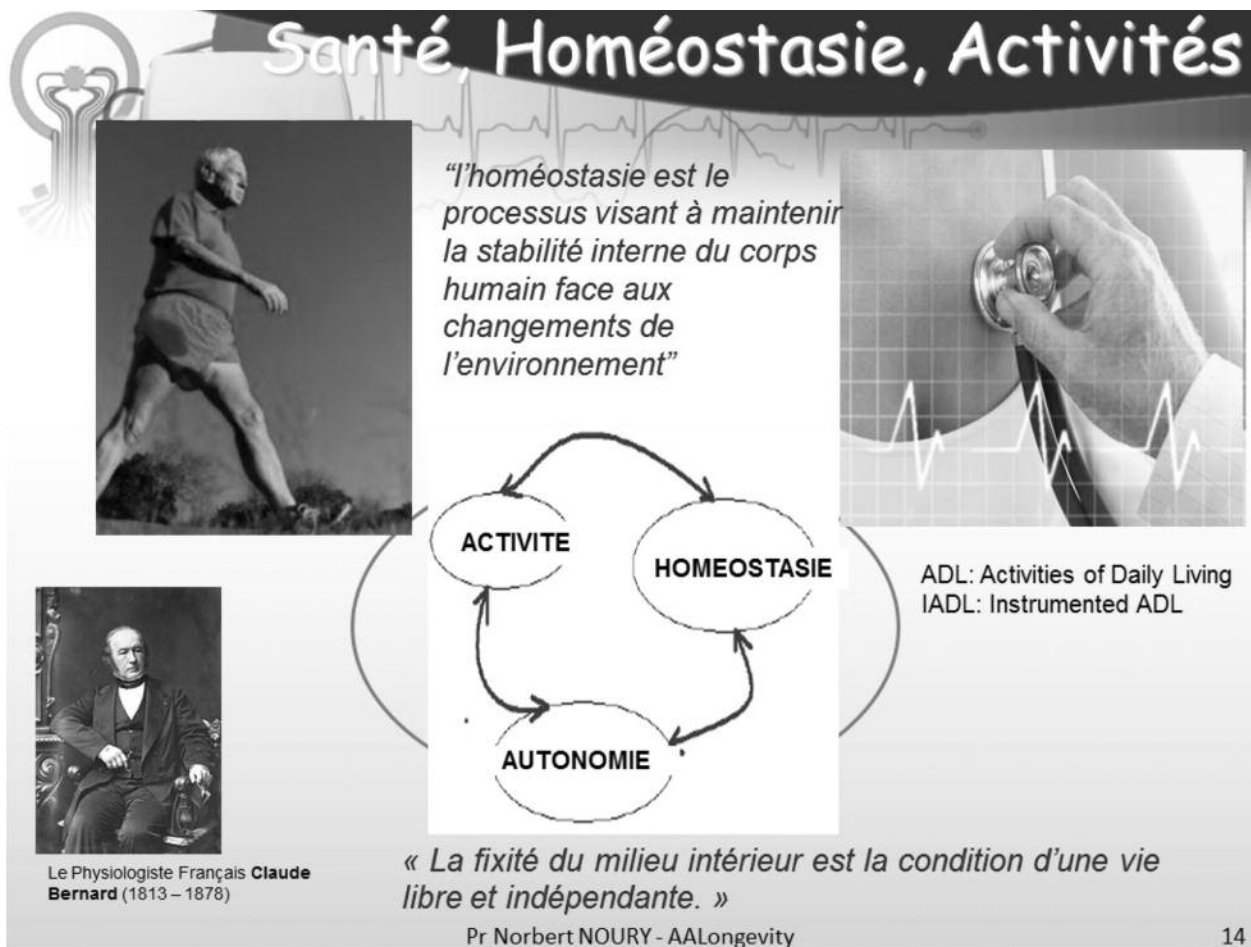


Figure 3 : Il existe des relations fortes entre homéostasie et santé, entre santé et autonomie, entre autonomie et activité : en définitive, l'activité est une des expressions de l'homéostasie.

il n'est pas surprenant qu'elles aient débuté et en Asie (et plus particulièrement au Japon) dans les années 1980 [7-14]. Les universitaires des pays d'Europe occidentale ont suivi, au début des années 1990 [15-23]. Les laboratoires de recherche d'Amérique du Nord se sont positionnés plus tardivement sur ce nouveau marché prometteur [24-34].

DES SIGNAUX AUX INFORMATIONS

Mais quelles informations pertinentes sur l'activité du sujet peut-on collecter directement au domicile de celui-ci ?

La technologie la plus répandue pour mesurer les activités au domicile s'appuie sur les détecteurs infrarouges passifs (en anglais : *Passive Infrared* ou PIR). Ces dispositifs sont basés sur un unique détecteur photosensible dans l'infrarouge couplé à un réseau de lentilles de Fresnel. Ils sont sensibles aux variations de rayonnement, permettant aussi de détecter les déplacements (et non la présence immobile) des organismes vivants, qui précisément du fait qu'ils sont vivants rayonnent de la chaleur, par convection. Les PIR sont sujets à de nombreux faux positifs et faux négatifs, disposent d'une zone de détection réduite et ne sont pas sélectifs. Néanmoins, ils permettent de détecter les activités d'un sujet pour un coût modique et ils sont bien acceptés dans l'environnement quotidien d'individus, généralement familiarisés avec ces dispositifs communément utilisés pour déclencher un système d'éclairage ou détecter des intrusions.

Dans les exemples suivants, nous montrerons la possibilité offerte par la collecte au domicile des activités du sujet suivi par ces capteurs PIR. Mais les mêmes méthodes peuvent être appliquées à des données provenant d'autres types de capteurs (caméras intelligentes, sols actimétriques, localisation par bornes radio-fréquences (RF), etc.).

La représentation graphique des activités

La représentation graphique la plus naturelle du déroulement des activités consiste à allouer un niveau différent à chaque détecteur de présence en fonction du temps : ce pseudo-signal baptisé « ambulatogramme » (voir la Figure 4) fut tout d'abord utilisé dans le projet AILISA [6,35] pour visualiser les détections de capteurs de présence répartis autour de l'appartement. Cette représentation souligne dès le premier coup d'œil les principales périodes d'activité/inactivité, les hautes fréquences spatiales correspondant aux périodes de la journée où l'activité est la plus intense. L'ambulatoigramme peut être établi sur les données d'une seule journée, mais aussi en cumulant un nombre suffisamment important de journées pour pouvoir faire apparaître les grandes tendances de répartition des activités. Le « profil d'agitation » obtenu par convolution de l'ambulatoigramme par une fenêtre temporelle glissante permet assez simplement de faire apparaître les maximums et la régularité des activités (rythmes) des habitants (voir la Figure 5 de la page suivante).

Une autre représentation graphique, le diagramme spatio-temporel, alloue une couleur différente à chaque activité (voir la Figure 6 de la page suivante). Cette représentation a été utilisée dans le projet MAPA (Orange Labs, [36,37]) pour représenter les événements électriques du réseau de distribution interne au logement. Un dispositif intelligent placé dans le tableau de distribution électrique est capable de reconnaître, après apprentissage, les appareils électriques qui sont mis sous et hors tension. Un algorithme d'intelligence artificielle associe ces événements électriques aux activités de la vie quotidienne (se nourrir, faire sa toilette...).

Au cours d'une expérience de terrain impliquant 12 personnes âgées (âge = $80,5 \pm 3,2$ ans) vivant seules (51 840 heures ont été enregistrées sur une période de 6 mois), les chercheurs ont découvert que ce diagramme spatio-temporel possède des régularités spéci-

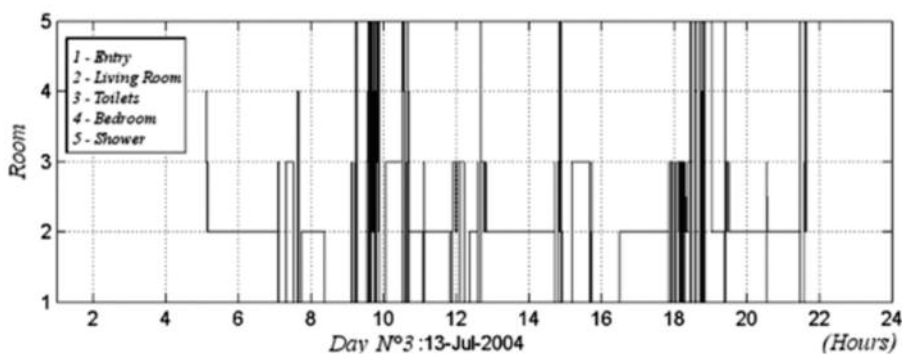


Figure 4 : L'ambulatoigramme est une représentation spatiale et temporelle des événements de détection (l'axe horizontal indique l'instant du jour et l'axe vertical le numéro de la pièce).

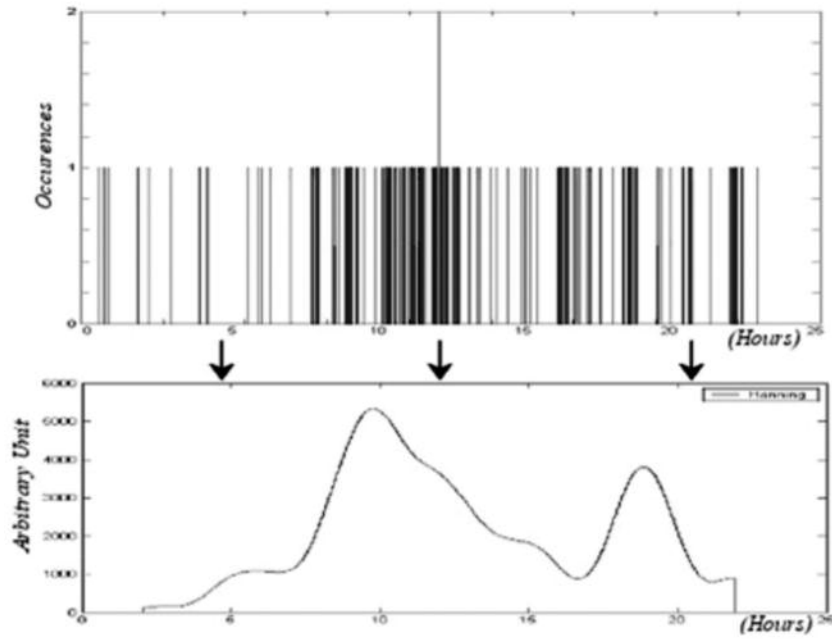


Figure 5 : En appliquant une fenêtre temporelle glissante (Hanning) sur l'ambulogramme (en haut) le profil d'agitation obtenu (en bas) fait apparaître le rythme circadien (avec ses maximums et ses minimums).

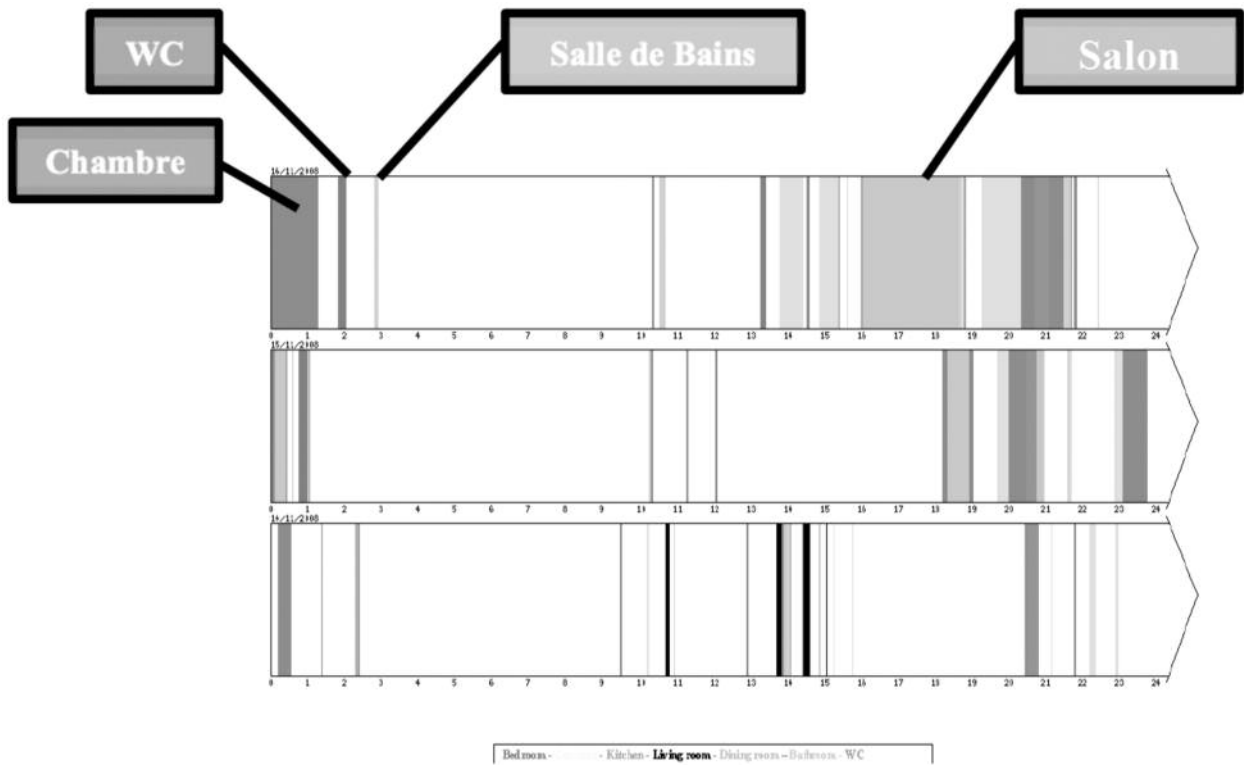


Figure 6 : Le diagramme spatio-temporel fait apparaître la succession des activités tout au long de trois journées, représentées de bas en haut (l'axe horizontal représente le temps dans la journée et chaque activité est identifiée par une couleur qui lui est propre).

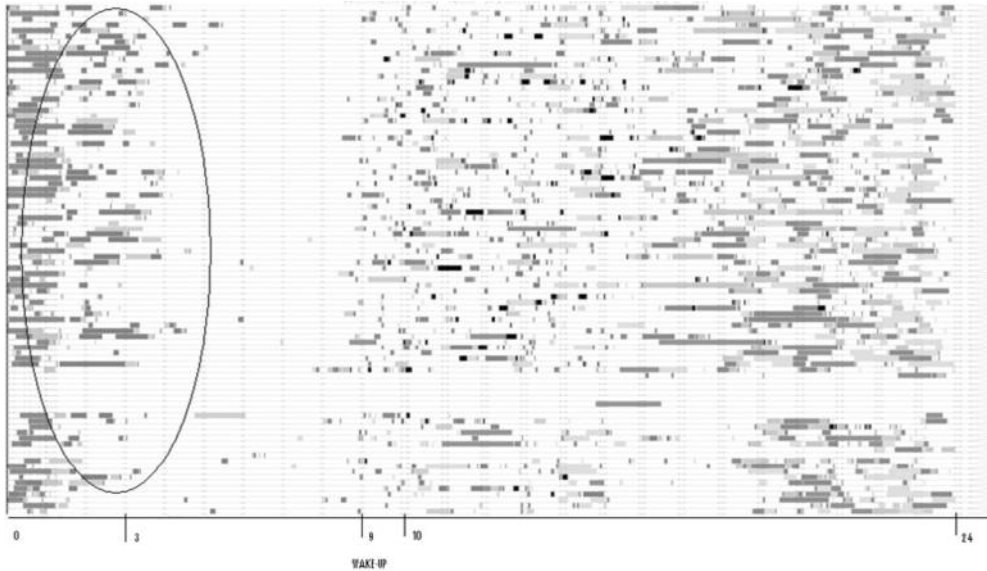


Figure 7 : On relève chez ce sujet un motif très régulier du diagramme spatio-temporel, avec des activités tard dans la nuit, de fréquentes visites aux toilettes et des heures de lever tardives (9 heures du matin) cohérentes avec des habitudes nocturnes.

fiques à chaque sujet dans son environnement, faisant apparaître des profils réguliers pour chaque sujet. Ils constituent en quelque sorte une « signature biométrique » de leur activité (voir la Figure 7).

L'analyse de la distribution des activités

Le premier niveau d'analyse porte naturellement sur le temps moyen passé dans chaque pièce (le « temps de séjour », voir la Figure 8) à des échelles de temps différentes (jour, semaine ou mois) afin de faire apparaître les habitudes moyennes des habitants.

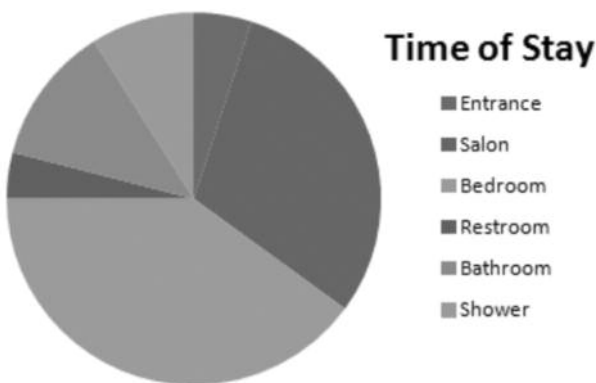


Figure 8 : Exemple de représentation graphique (camembert) des répartitions des temps de séjours dans chaque pièce : on constate que la chambre est occupée un tiers du temps, ainsi que le salon.

Un deuxième niveau d'analyse s'intéresse à la fréquence des transitions entre chaque pièce du logement (« distribution des transitions »), qui fournit un com-

plément d'information. Ainsi, le diagramme des transitions, chez un sujet peu actif, comportera un nombre réduit de pièces occupées (par exemple, la chambre et la cuisine), avec peu de transitions. Au contraire, un sujet « très actif » aura une fréquence importante de transitions, mais aussi un diagramme de séjours plus régulier. Si cette « photographie » des temps de séjour nous renseigne immédiatement sur les habitudes du sujet, il est plus instructif d'observer leurs évolutions au cours du temps. On sait en effet que, pour tous les paramètres physiologiques de l'humain, la tendance (au sens de la dérivée mathématique) apporte plus d'informations que la valeur absolue.

L'analyse de la distribution de l'inactivité

Les périodes d'inactivité apportent également des informations utiles sur l'activité humaine. La première information concerne les périodes de sommeil, leur durée et leur répartition dans la journée, qui nous renseignent sur le rythme circadien du sujet. Mais au-delà, considérant que l'inactivité chez l'être humain est exceptionnelle en dehors des périodes de sommeil, on peut imaginer placer des seuils d'alerte sur des durées d'inactivité excessives. Ces seuils d'inactivité doivent être fixés après une période d'apprentissage, car ils dépendent à la fois du sujet et du type de pièce. On comprend bien que la durée possible d'inactivité sera différente dans la chambre (quelques heures) ou dans les WC (quelques dizaines de minutes). En effectuant un suivi longitudinal sur six mois des activités d'une personne âgée autonome résidant dans un foyer

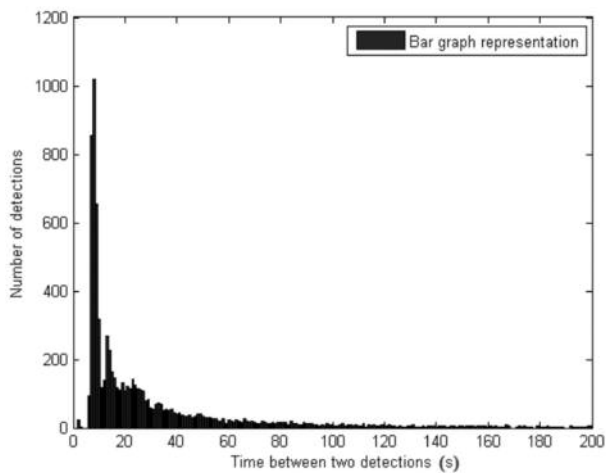


Figure 9 : Histogramme des temps d'inactivité relevés pendant 2 mois dans la pièce de vie (salon) chez une personne âgée autonome (Projet AILISA - Foyer d'accueil pour personnes âgées « Notre Dame », Grenoble (France)). On remarque un temps moyen d'inactivité de 10 minutes, et l'on peut ainsi fixer un seuil d'alerte aux alentours de 60 minutes sans activité relevée.

de personnes âgées [38], nous avons été surpris de découvrir des distributions d'inactivité proches des distributions de probabilité de type Gama. Un exemple de distribution d'inactivité pour la salle de séjour est donné à la Figure 9, ci-contre.

L'alternance jour/nuit

Le cycle naturel d'alternance entre les activités diurnes et les activités nocturnes est bien connu des physiologistes. On sait par expérience que le niveau d'activité diurne est plus faible après une nuit agitée et, inversement, que la nuit est plus calme après une journée d'intense activité. Par conséquent, il y a une alternance naturelle entre les niveaux d'activité diurne et les niveaux d'activité nocturne. Aussi, est-il anormal de relever un même niveau d'activité (élevé ou faible) à la fois durant le jour et la nuit. Au sein du projet AILISA, nous avons enregistré les activités diurnes et les activités

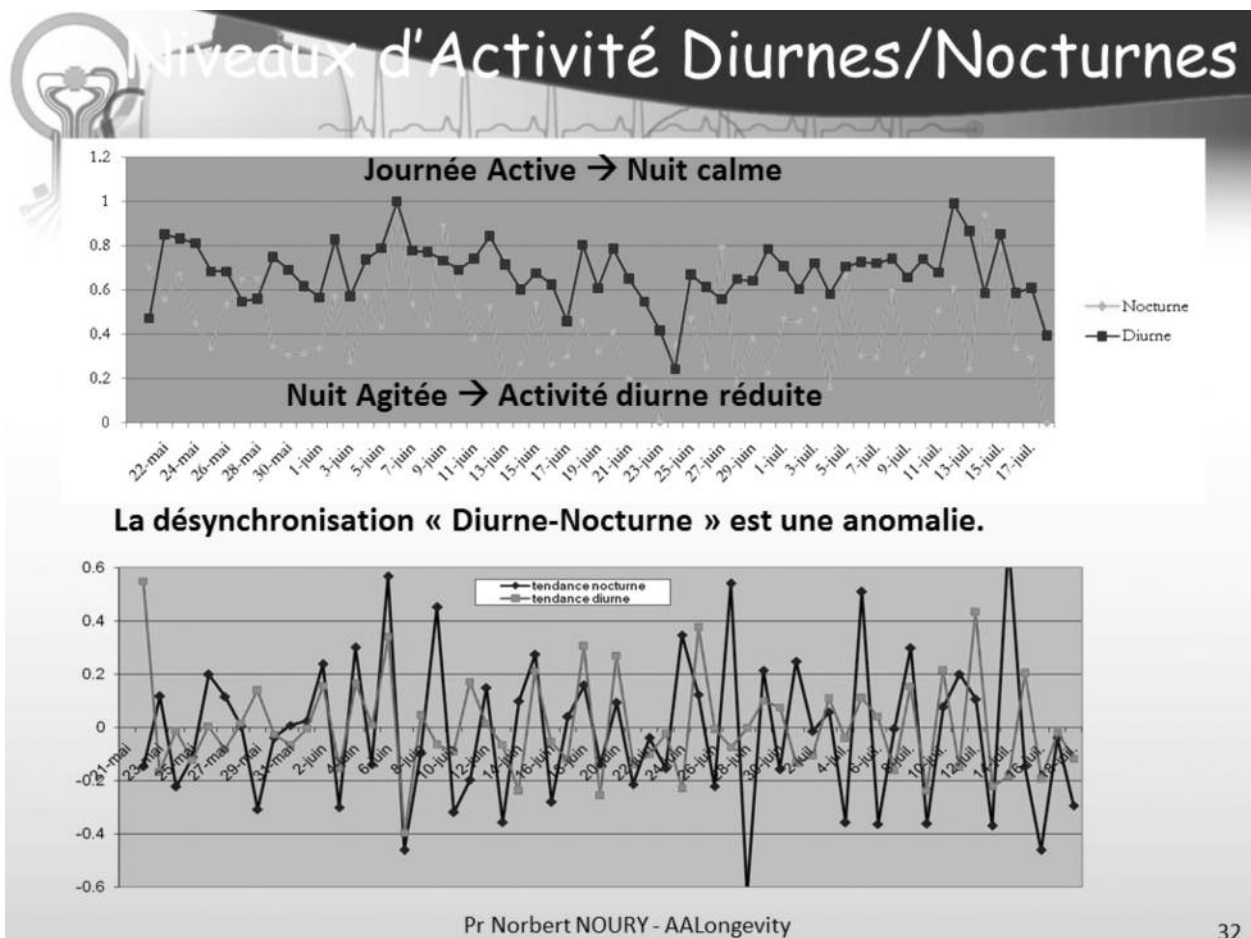


Figure 10 : Les niveaux d'activité diurne et les niveaux d'activité nocturne sont corrélés (enregistrements de l'activité d'une personne âgée au CGS Grenoble de mai à juillet 2007).

nocturnes dans des suites hospitalières occupées pendant plusieurs mois par des personnes âgées, ainsi que les journaux d'observations tenus par le personnel soignant. Dans la Figure 10 de la page précédente, nous avons représenté les niveaux d'activité diurne et les niveaux d'activité nocturne calculés sur les données recueillies sur un sujet pendant deux mois [39]. Les médecins ont pointé que les périodes de rupture de l'alternance jour/nuit correspondaient aux périodes où le patient rencontrait des problèmes de santé.

Les rythmes d'activité circadiens

Les rythmes biologiques circadiens ont été découverts il y a bien des années [40], et sont encore largement étudiés en chronobiologie [41]. Les rythmes circadiens sont pilotés par une horloge circadienne de 24 heures et ils sont ajustés localement à notre environnement par des synchroniseurs externes (en allemand, *zeitgebers*), dont le plus important est la lumière du jour.

Il est donc naturel de s'intéresser aux rythmes circadiens des activités quotidiennes (RCA) des habitants d'un logement. Nous avons proposé plusieurs méthodes pour calculer ces RCA, notamment l'opération mathématique de convolution de l'ambulogramme par une fenêtre temporelle [38] ou encore le calcul de la distribution statistique du temps passé pour chaque heure dans chaque chambre (voir la Figure 11). Une alarme peut être déclenchée en cas de profil d'activité s'écartant du modèle régulier relevé sur une période de référence [42].

DISCUSSION

Les recherches menées sur les activités relevées dans les maisons intelligentes ont soulevé de nombreuses questions scientifiques, dont certaines ont été résolues. Ainsi, par exemple, la granularité (le niveau de détail) des signaux recueillis induit la qualité et la nature de l'information que l'on va extraire. Une granularité « microscopique » nous permet de déclencher en temps réel des alarmes concernant des événements préoccupants. Au contraire, une information de granularité « macroscopique » (plus grossière) permettra de s'intéresser aux évolutions de l'activité sur le long terme (par exemple, pour détecter le glissement vers la dépendance).

Le problème de la fiabilité des données est généralement peu abordé. Pourtant, comment prendre des décisions fiables impliquant la santé et le bien-être du sujet sur la base de données corrompues, incohérentes ou incomplètes ? Or, bon nombre des données récoltées au domicile le sont en boucle ouverte, sans possibilité de vérification.

Les *Smart Homes* peuvent potentiellement produire une énorme quantité de données qu'il faudra exploiter au jour le jour, ce qui nécessite d'importants moyens de stockage et de calcul (*Big Data model*). Ainsi, des techniques d'exploration de données (*Data Mining*) doivent être développées pour analyser en temps utile cette prodigieuse masse d'informations stockées dans les entrepôts de données afin de produire des « index composites » permettant aux professionnels en charge d'une détection efficace sur le terrain, de savoir à quel moment la situation nécessite

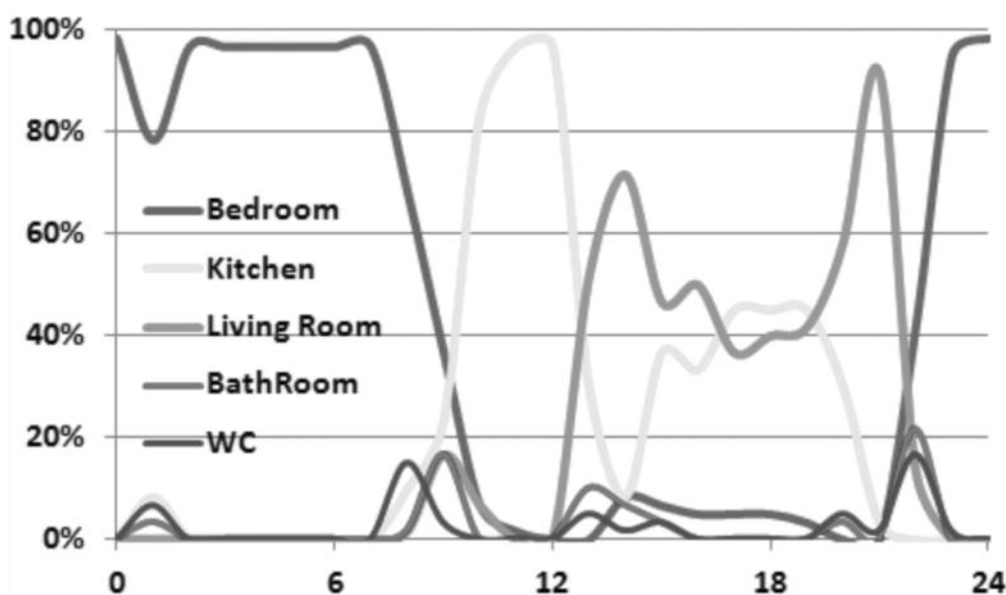


Figure 11 : Les distributions de temps de séjour horaire dans chaque pièce font apparaître les rythmes circadiens d'activité.

une intervention, cela sans avoir à explorer les données dans le détail.

Une des tâches principales est aussi de produire des mesures objectives sur des concepts pourtant souvent imprécis, tels que l'âge, la bonne santé, l'autonomie (voir la Figure 12). On connaît bien la différence entre l'âge civil (« plus de 65 ans ») et l'âge biologique (« une personne âgée physiquement »). Le concept de « bonne santé » est lui aussi difficile à cerner, puisque notre corps peut développer parfois des pathologies pour réagir « efficacement » face à une situation de déséquilibre externe. L'efficacité du mécanisme de l'homéostasie du sujet est probablement une bonne mesure de sa vitalité pour faire face aux maladies. Les rythmes nyctéméraux sont également de bons indicateurs de l'état global de santé et de bien-être. On évalue de manière grossière l'autonomie d'une personne à l'aide d'échelles manuelles (ADL - *Activities of Daily Living*). Le niveau de handicap dépend de l'environnement, qui peut être adapté pour réduire le handicap et prolonger ainsi l'autonomie.

L'intrusion des technologies dans le domicile soulève des questions éthiques, souvent agitées, bien qu'elles aient été peu approfondies scientifiquement.

Effectivement, beaucoup trouvent dangereux voire inacceptable, d'exploiter des informations recueillies dans l'intimité de la maison. Or, les humains adoptent toujours les technologies qui leur donnent le sentiment de leur rendre service (*Affordance*). Il faut bien constater que beaucoup des technologies volontairement invitées par les utilisateurs dans leur environnement sont très intrusives. Le *Smartphone* en est un bon exemple. Si la technologie peut aider les gens à maintenir une vie indépendante dans leur propre environnement affectif, alors sans aucun doute cette technologie est acceptable. Le comportement « non éthique » serait de ne laisser aucune chance aux personnes âgées sous prétexte que la technologie pourrait perturber leur existence. Il y a ici une certaine distance entre éthique et « moralité ».

Très souvent, le placement d'une personne âgée dans un établissement spécialisé est le fait d'une décision prise par l'équipe médicale lorsque celle-ci ne dispose d'aucune information fiable sur la santé, le bien-être et la sécurité de cette personne vivant seule à son domicile. La perte d'autonomie du sujet est redoutée par les acteurs médicaux et sociaux autant que par le sujet lui-même. La « courbe d'autonomie » (voir la

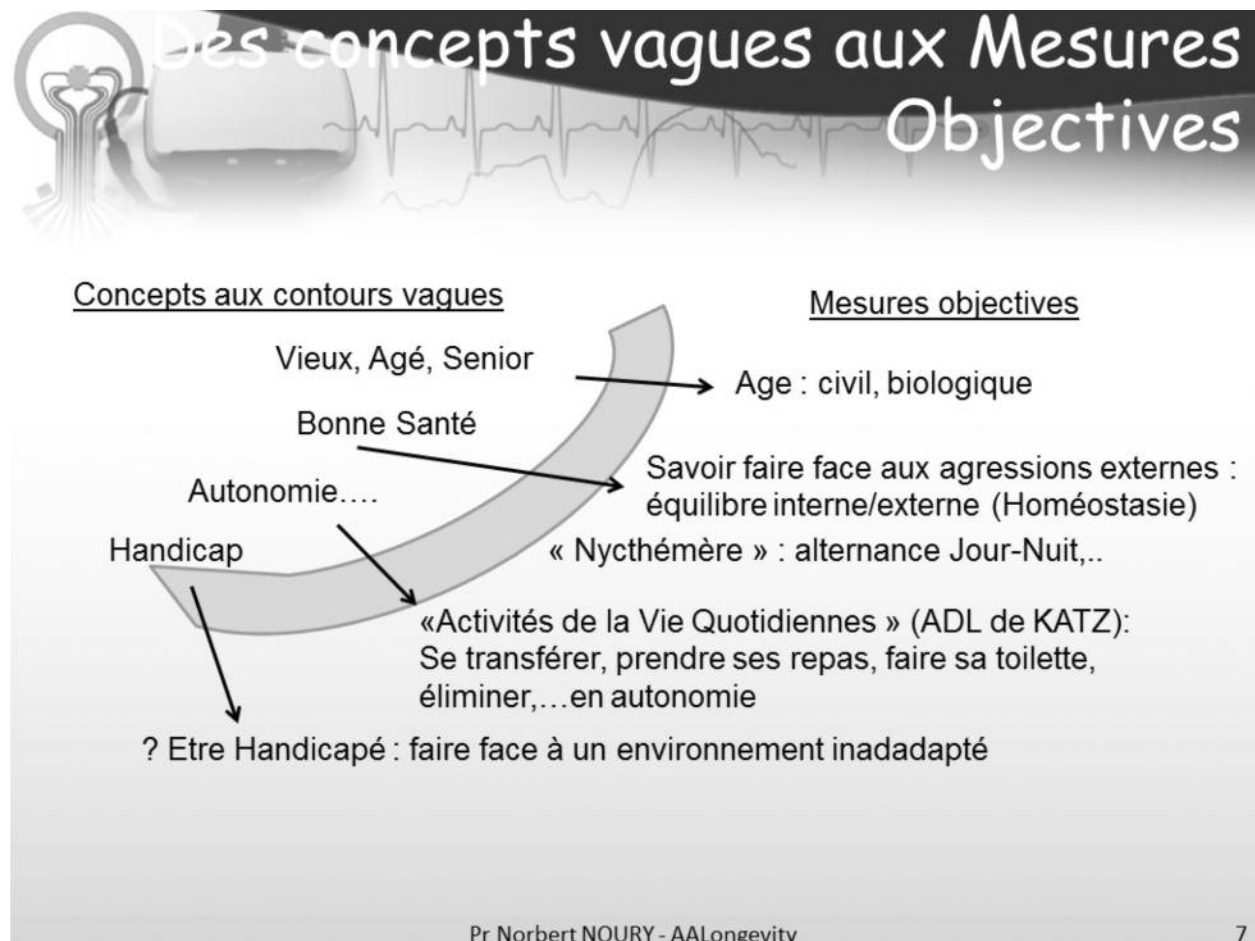


Figure 12 : Beaucoup des concepts abordés dans le cadre des gérontechnologies restent mal définis, pourtant il nous faut délivrer des mesures objectives.

Figure 13) est naturellement croissante chez le sujet jeune, puis elle décroît avec l'âge. Si nous pouvons détecter des signes avancés de dégénérescence, nous pourrions alors adapter l'environnement pour pouvoir maintenir le sujet au-dessus du seuil de dépendance ou encore préparer une institutionnalisation acceptée. Les résultats obtenus par les chercheurs nous montrent qu'il existe des informations mesurables, dont certaines peuvent être recueillies au moyen de capteurs simples. En ce qui concerne le suivi des activités du sujet à son domicile, une approche intéressante pour réduire le phénomène d'intrusion induit par l'introduction d'une nouvelle technologie consiste à utiliser le milieu de vie lui-même en tant que capteur (comme nous l'avons fait en détectant les activités électriques sur la ligne d'alimentation d'une zone résidentielle [43]).

Les efforts doivent désormais porter sur les méthodes permettant de mieux comprendre quels sont les signaux d'ordre médical que signalent les niveaux d'activité, ainsi que les corrélations entre les activités quotidiennes et le bien-être (et donc l'homéostasie) du sujet. Ce travail doit être effectué en étroite colla-

boration avec des médecins et des physiologistes, au moyen d'expérimentations sur le terrain impliquant de larges cohortes.

CONCLUSION

La première technologie introduite dans nos maisons, l'électricité, a apporté l'éclairage artificiel, qui a permis aux humains de maintenir leurs activités après le coucher du Soleil. Elle a également ouvert notre maison aux nombreuses technologies qui ont changé nos vies, tel le réfrigérateur qui a contribué à la sécurité de notre alimentation avec des conséquences positives majeures pour notre longévité. La dernière révolution apportée dans le domicile est le téléphone, qui nous permet de rester en contact avec nos proches. L'Internet a amplifié ce phénomène en nous donnant la possibilité de partager instantanément des informations et des communications. Mais les TIC permettent désormais d'apporter au domicile de nombreux services permettant de

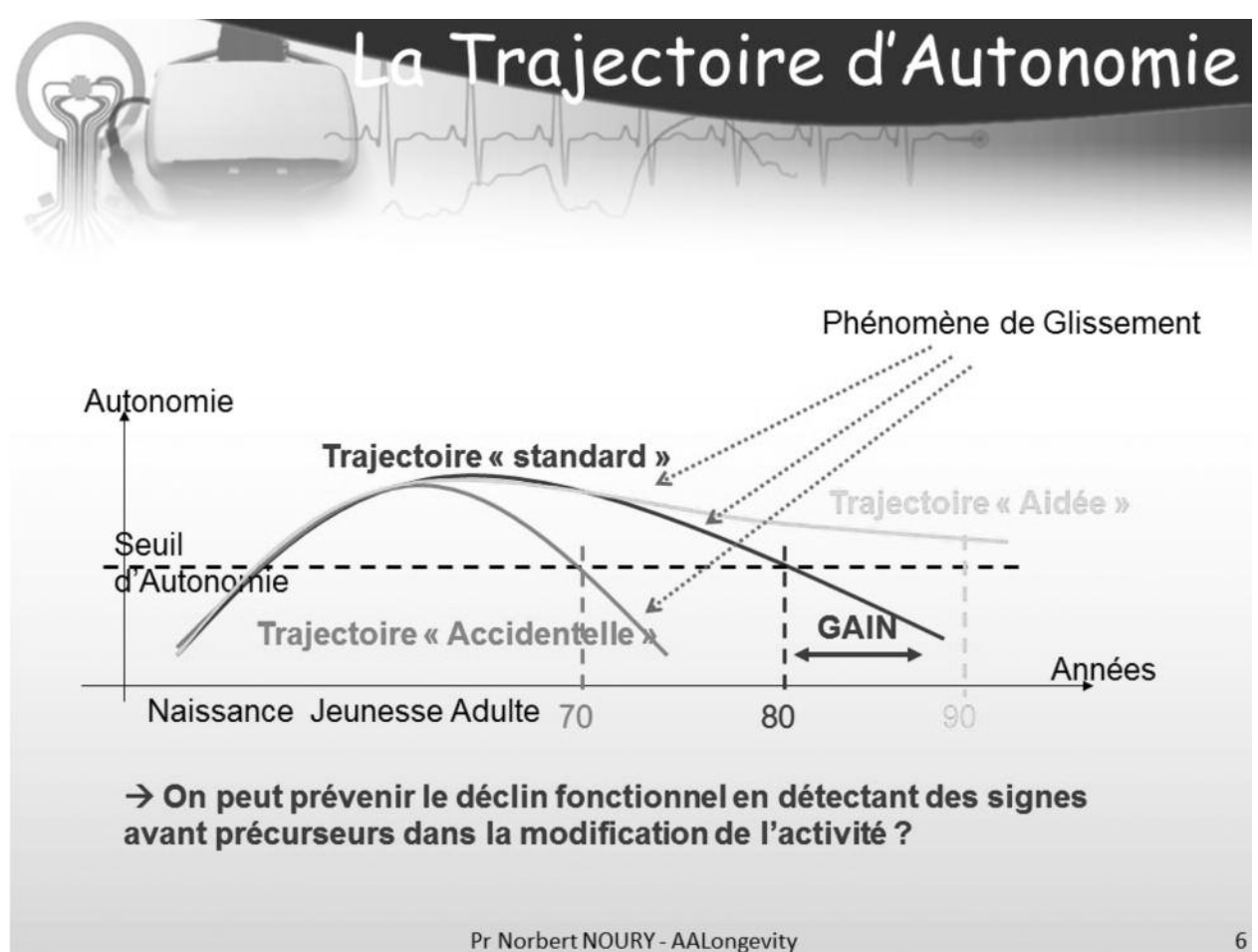


Figure 13 : La courbe d'autonomie dépasse le seuil à partir du moment où l'enfant atteint son autonomie. Plus tard, elle replonge en dessous de ce seuil (à la suite d'un accident, ou par le simple effet du vieillissement).

répondre aux besoins vitaux, au suivi de la santé et même de satisfaire des aspirations plus élevées d'ordre plus personnel, complétant ainsi la *pyramide de Maslow*.

Paradoxalement, l'introduction des TIC en santé présente à la fois le potentiel de réduire les dépenses et celui d'augmenter le fardeau financier en sollicitant la demande d'une population non encore éduquée à sa propre prise en charge. Il faut donc faire un effort de formation et d'information pour rendre l'individu responsable de sa santé, et ce, au bénéfice de toute la société. D'autres menaces planent aussi sur le déploiement des TIC en santé, telle la fracture numérique qui frappe d'isolement social ceux qui n'ont pas accès aux aides technologiques.

Indéniablement, les TIC sont entrées dans nos maisons et peuvent désormais participer à l'augmentation d'une longévité accomplie des êtres humains.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] HOFFMAN (I.) & COSBY (R. S.), *Telephonic electrocardiography*, California Medicine, 100 (4), 264 p., 1964.
- [2] UZAN (S.), « Autosurveillance à domicile de certaines grossesses à risque », *Revue du Praticien*, 39(27), pp. 2441-2442, 1989.
- [3] BILLIARD (A.), ROHMER (V.), ROQUES (M.-A.), JOSEPH (M.-G.), SURANITI (S.) & GIRAUD (P.), *Télématique pour l'organisation de l'hospitalisation à domicile*, Thèse de Doctorat, Université de Grenoble, 110 pages, novembre 1992.
- [5] NOURY (N.) & PILICHOWSKI (P.), *A telematic system tool for home health care*, in Engineering in 14th IEEE Annual International Conference of the EMBS, vol. 3, pp. 1175-1177, 1992.
- [6] NOURY (N.) & al., « AILISA : plateformes d'évaluation pour des technologies de télésurveillance médicale et d'assistance en gérontologie », *Journal Gérontologie et Société*, n°113, pp. 97-119, juin 2005.
- [7] TAMURA (T.), TOGAWA (T.), OGAWA (M.) & YODA (M.), "Fully automated health monitoring system in the home", *Medical Engineering & Physics*, 20(8), pp. 573-579, novembre 1998.
- [8] TAMURA (T.), KAWARADA (A.), NAMBU (M.), TSUKADA (A.), SASAKI (K.) & YAMAKOSHI (K.), "E-healthcare at an experimental welfare techno-house in Japan", *The Open Medical Informatics Journal (Open Med Informat J)*, 1, 2007.
- [9] YAMAZAKI (K.), *Ubiquitous home: real-life testbed for home context-aware service*, in Proceedings of the First International Conference on Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks and Communities – Tridentcom 2005, pp. 54-59, 2005.
- [10] MORI (T.), TAKADA (A.), NOGUCHI (H.), HARADA (T.) & SATO (T.), *Behavior prediction based on daily-life record database in distributed sensing space*, in Proceedings IEEE/RSJ of the International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2005), pp. 1703-1709, 2005.
- [11] NISHIDA (Y.), HORI (T.), SUEHIRO (T.) & HIRAI (S.), *Sensorized environment for self-communication based on observation of daily human behavior*, in Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2000), vol. 2, pp. 1364-1372, 2000 (Doi: 10.1109/IROS.2000.893211).
- [12] CELLER (B.G.), EARNSHAW (W.), ILSAR (E.D.), BETBEDER-MATIBET (L.), HARRIS (M.F.), CLARK (R.), HESKETH (T.) & LOVELL (N.H.), "Remote monitoring of health status of the elderly at home. A multidisciplinary project on aging at the University of New South Wales", *International Journal of Medical Informatics (Int J Biomed Comput)*, 40(2), pp. 147-155, 1995.
- [13] LEE (J.-S.), PARK (K.-S.) & HAHN (M.-S.), *Windowactive: An interactive house window on demand*, in Proceedings of the 1st Korea-Japan Joint Workshop on Ubiquitous Computing and Networking Systems (UbiCNS), pp. 481-484, juin 2005.
- [14] OH (Y.) & WOO (W.), *A unified application service model for ubihome by exploiting intelligent context-awareness*, in Proceedings of the Second International Symposium on Ubiquitous Computing Systems (UCS 2004), Tokyo, pp. 117-122, 2004.
- [15] DIEGEL (O.), *Intelligent automated health systems for compliance monitoring*, in TENCON 2005 IEEE Region 10, pp. 1-6, 2005.
- [16] WILLIAMS (G.), DOUGHTY (K.) & BRADLEY (D.), "A systems approach to achieving CareNet - An integrated and intelligent telecare system", *IEEE Trans. Information Technology in Biomedicine*, 2 (1), pp. 1-9, march, 1998 (ISSN 1089-7771).
- [17] ORPWOOD (R.), ADLAM (T.), GIBBS (C.) & HAGAN (S.), *User-centred design of support devices for people with dementia for use in a smart house, Assistive Technology Added Value to the Quality of Life*, IOS Press, Amsterdam (The Netherlands), pp. 314-318, 2001.
- [18] RICHARDSON (S.), POULSON (D.) & NICOLLE (C.), *Supporting independent living through adaptable smart home (ASH) technologies*, in Proceedings of Human welfare and technologies: the human service information technology applications (HUSITA), conference on information technologies and the quality of life and services, pp. 87-95, 1993.
- [19] VAN BERLO (A.), *A "smart" model house as research and demonstration tool for telematics development*, in Proceedings of the 3rd TIDE Congress, pp. 23-25, June, Helsinki (Finland), 1998.

- [20] ELGER (G.) & FURUGREN (B.), “*Smartbo* – an ICT and computer-based demonstration home for disabled people”, in Proceedings of the 3rd TIDE Congress, pp. 23-25, June, Helsinki, Finland, 1998.
- [21] KORHONEN (I.) & *al.*, *Terva: wellness monitoring system*, in Engineering in Medicine and Biology Society, 1998, Proceedings of the 20th Annual International Conference IEEE, vol. 4, pp. 1988-1991, 1998.
- [22] NOURY (N.), HERVE (T.), RIALLE (V.), VIRONE (G.), MERCIER (E.), MOREY (G.), MORO (A.) & PORCHERON (T.), *Monitoring behavior in home using a smart fall sensor and position sensors*, in Proceedings of the 1st annual Conference on Microtechnologies in Medicine and Biology, pp. 607-610, 2000.
- [23] CHAN (M.), HARITON (C.), RINGEARD (P.) & CAMPO (E.), *Smart house automation system for the elderly and the disabled*, in Proceedings of IEEE International Systems, Man and Cybernetics Intelligent Systems for the 21st Century Conference, vol. 2, pp. 1586-1589, 1995.
- [24] MOZER (M.), *The adaptive house*, in Proceedings of the IEE Seminar (Ref Intelligent Building Environments, No. 2005/11059), pp. 39-79, 2005.
- [25] GLASCOCK (A. P.) & KUTZIK (D. M.), “Behavioral telemedicine: A new approach to the continuous nonintrusive monitoring of activities of daily living”, *Telemedicine Journal*, 6(1), pp. 33-44, 2000.
- [26] DAS (S.), COOK (D.), BATTACHARYA (A.), HEIERMAN (E.O.) & LIN (T.-Y.), “The role of prediction algorithms in the mavhome smart home architecture”, *Wireless Communications IEEE*, 9(6), pp. 77-84, décembre, 2002.
- [27] HELAL (S.), MANN (W.), EL-ZABADANI (H.), KING (J.), KADDOURA (Y.) & JANSEN (E.), “The Gator Tech Smart House (GTSH): a programmable pervasive space”, *Computer*, 38(3), pp. 50-60, 2005.
- [28] KIDD (C.D.), ORR (R.), ABOWD (G. D.), ATKESON (C. G.), ESSA (I. A.), MACINTYRE (B.), MYNATT (E. D.), STARNER (T.) & NEWSTETTER (W.), *The aware home: A living laboratory for ubiquitous computing research*, in CoBuild'99: Proceedings of the 2nd International Workshop on Cooperative Buildings, Integrating Information, Organization, and Architecture, pp. 191-198, London, UK, 1999, Springer-Verlag (ISBN 3-540-66596-X).
- [29] KRUMM (J.), HARRIS (S.), MEYERS (B.), BRUMITT (B.), HALE (M.) & SHAFER (S.), *Multi-camera multi-person tracking for easy-living*, in Proceedings of the 3rd IEEE International Visual Surveillance Workshop, pp. 3-10, 2000.
- [30] INTILLE (S. S.), “Designing a home of the future”, *IEEE Pervasive Computing*, 1(2), pp. 76-82, 2002, ISSN 1536-1268.
- [31] RANTZ (M.), SKUBIC (M.), MILLER (S.) & KRAMPE (J.), “Using technology to enhance aging in place”, in *Smart Homes and Health Telematics*, pp. 169-176, Springer Verlag, Berlin, 2008.
- [32] ADAMI (A.), HAYES (T.) & PAVEL (M.), *Unobtrusive monitoring of sleep patterns*, in Engineering in Medicine and Biology Society, 2003, Proceedings of the 25th Annual International Conference IEEE, vol. 2, pp. 1360-1363, 2003.
- [33] LEE (T.) & MIHAILIDIS (A.), “An intelligent emergency response system: preliminary development and testing of automated fall detection”, *J. Telemed Telecare*, 11(4), pp. 194-198, 2005.
- [34] PIGOT (H.), LEFEBVRE (B.), MEUNIER (B.), KERHERVE (J.G.), MAYERS (A.) & GIROUX (S.), *The role of intelligent habitats in upholding elders in residence*, in Proceedings of the 5th international conference on Simulations in Biomedicine, Slovenia, April 2003.
- [35] LE BELLEGO (G.), NOURY (N.), VIRONE (G.), MOUSSEAU (M.) & DEMONGEOT (J.), *A model for the measurement of patient activity in a hospital suite*, *IEEE TITB*, 10(1), pp. 92-99, 2006.
- [36] NOURY (N.), BERENGUER (M.), TEYSSIER (H.), BOUZID (M.-J.) & GIORDANI (M.), *Building an index of activity of inhabitants from their activity on the residential electrical power line*, *IEEE-TITB*, 15(5), pp. 758-766, 2011.
- [37] BERENGUER (M.), GIORDANI (M.), GIRAUD-BY (F.) & NOURY (N.), *Automatic detection of activities of daily living from detecting and classifying electrical events on the residential power line*, in Proceedings of Healthcom 2008, pp. 29-32, 2008.
- [38] POUJAUD (J.), NOURY (N.) & LUNDY (J.-E.), *Identification of inactivity behavior in smart home*, in Proc. IEEE EMBS, pp. 2075-2078, 2008.
- [39] NOURY (N.), HADIDI (T.), LAILA (M.), FLEURY (A.), VILLEMASET (C.), RIALLE (V.) & FRANCO (A.), *Level of activity, night and day alternation, and well being measured in a smart hospital suite*, in Proc. IEEE-EMBS, pp. 3328-3331, 2008.
- [40] WINFREE (A.T.), “Biological rhythms and the behavior of populations of coupled oscillators”, *Journal of theoretical biology*, 16(1), p. 15-42, 1967.
- [41] BARKAI (N.) & LEIBLER (S.), “Biological rhythms: Circadian clocks limited by noise”, *Nature*, 403(6767), pp. 267-268, 2000.
- [42] VIRONE (G.), NOURY (N.) & DEMONGEOT (J.), *A system for automatic measurement of circadian activity deviations in telemedicine*, *IEEE TBME*, 49(12), pp. 1463-1469, 2002.
- [43] NOURY (N.), QUACH (K. A.), BERENGUER (M.), TEYSSIER (H.), BOUZID (M.-J.), GOLDSTEIN (L.) & GIORDANI (M.), *Remote follow up of health through the monitoring of electrical activities on the residential power line – Preliminary results of an experimentation*, in Proceedings of HealthCom, pp. 9-13, 2009.