

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE  
Faculté de génie  
Département de génie électrique et de génie informatique

Prévention des dangers liés à l'utilisation  
d'une cuisinière : une validation grâce à un  
prototype

Mémoire de maîtrise  
Spécialité : génie électrique

Thomas TESSIER

Jury : Wael Suleiman (Président de jury)  
Philippe Mabillean (Directeur)  
Bessam Abdulrazak (Co-directeur)  
André Thépaut

Sherbrooke (Québec) Canada

Juillet 2012

IV - 2237



Library and Archives  
Canada

Published Heritage  
Branch

395 Wellington Street  
Ottawa ON K1A 0N4  
Canada

Bibliothèque et  
Archives Canada

Direction du  
Patrimoine de l'édition

395, rue Wellington  
Ottawa ON K1A 0N4  
Canada

*Your file Votre référence*

*ISBN: 978-0-494-91030-6*

*Our file Notre référence*

*ISBN: 978-0-494-91030-6*

#### NOTICE:

The author has granted a non-exclusive license allowing Library and Archives Canada to reproduce, publish, archive, preserve, conserve, communicate to the public by telecommunication or on the Internet, loan, distribute and sell theses worldwide, for commercial or non-commercial purposes, in microform, paper, electronic and/or any other formats.

The author retains copyright ownership and moral rights in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

#### AVIS:

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque et Archives Canada de reproduire, publier, archiver, sauvegarder, conserver, transmettre au public par télécommunication ou par l'Internet, prêter, distribuer et vendre des thèses partout dans le monde, à des fins commerciales ou autres, sur support microforme, papier, électronique et/ou autres formats.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

---

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms may have been removed from this thesis.

While these forms may be included in the document page count, their removal does not represent any loss of content from the thesis.

Conformément à la loi canadienne sur la protection de la vie privée, quelques formulaires secondaires ont été enlevés de cette thèse.

Bien que ces formulaires aient inclus dans la pagination, il n'y aura aucun contenu manquant.

Canada

# RÉSUMÉ

La présente étude se situe dans l'optique de permettre à chacun de pratiquer la cuisine en toute *sécurité*. Les statistiques à ce sujet montrent que la cuisine est le deuxième endroit le plus dangereux d'une maison après la salle de bain, et que la plupart des sources de dangers se situent au niveau de la *cuisinière*.

Des moyens pour sécuriser l'utilisation d'une cuisinière existent, mais peuvent être améliorés. En premier lieu, la qualité de vie de l'utilisateur n'est pas prise en compte (par exemple, les détecteurs de fumée qui produisent beaucoup de fausses alarmes). L'appareil de sécurité devient inutile puisque l'utilisateur finira par le débrancher. De plus, il n'existe pas de solutions de sécurité qui protège l'utilisateur de tous les dangers possibles. Les améliorations à apporter se situent tout d'abord sur l'approche générale, qui est souvent la détection, c'est-à-dire de détecter le plus rapidement possible le problème pour minimiser le temps de réaction des secours. Si l'approche est la *prévention* de dangers, les blessures et dégâts matériels sont évités. Dans cette optique, la connaissance de l'environnement, faite à partir de *capteurs*, doit être améliorée. Si les informations surveillées sont bien choisies, la situation courante est mieux décrite, et les performances générales seront meilleurs (moins de fausses alarmes, meilleure réaction aux dangers potentiels). Le souci de préserver le confort de l'utilisateur passe aussi par l'*intégration* de la technologie dans l'environnement de la cuisinière. Les capteurs, actionneurs, cartes ne doivent pas chambouler les habitudes de cuisine et de vie de la personne.

Le présent projet s'est réalisé dans une optique de prévention de tous les dangers existants autour d'une cuisinière (incendies, intoxication et brûlure). Des capteurs, intégrés à une chaîne d'acquisition, ont été choisis en ce sens. Ils ont été testés un par un, tests qui ont permis l'acquisition de connaissances sur les limites mêmes des capteurs, sur les situations normales, sur les situations limites, sur l'influence des ustensiles. Ces informations ont mené au développement d'un système général de prévention des dangers, à base de règles fixes. Les résultats obtenus sont prometteurs, et constituent une base de travail pour des travaux futurs.

L'attention s'est aussi portée sur l'intégration du matériel dans l'environnement de la cuisinière. Les capteurs sont branchés sur une même carte, installée dans la hotte. Ils sont reliés par un câble plat facilement dissimulable aux dispositifs informatiques responsables du traitement des données, qui ne pouvaient être déployés dans la hotte à cause des conditions hostiles (humidité, température ou gaz).

**Mots-clés** : sécurité, cuisinière, prévention, capteur, intégration



# TABLE DES MATIÈRES

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
1.1	Mise en contexte et problématique . . . . .	1
1.1.1	Problématique . . . . .	2
1.2	Définition du projet de recherche . . . . .	4
1.3	Objectifs du projet de recherche . . . . .	5
1.4	Contributions originales . . . . .	5
1.5	Plan du document . . . . .	6
<b>2</b>	<b>ÉTAT DE L'ART</b>	<b>7</b>
2.1	Solutions de sécurité commerciales . . . . .	7
2.1.1	La première génération de détecteurs de fumée . . . . .	7
2.1.2	Améliorations apportées sur les détecteurs de fumées . . . . .	8
2.1.3	La sécurité dans les appareils électroménagers du commerce . . . . .	9
2.1.4	Appareils externes dédiés à la sécurité de la cuisinière . . . . .	10
2.1.5	Résumé . . . . .	12
2.2	Solutions de sécurité à l'état de recherche . . . . .	13
2.2.1	Choix des paramètres physiques à surveiller . . . . .	14
2.2.2	Méthodologie de prise de décision à partir des données des capteurs . . . . .	15
2.3	Technologie de capteurs existant sur le marché . . . . .	17
2.3.1	Détecteur de fumée de type "photo-électrique" . . . . .	17
2.3.2	Détecteur de fumée de type "ionisant" . . . . .	18
2.3.3	Capteur de gaz de type "électro-chimique" . . . . .	19
2.3.4	Capteur de type "infra-rouge passif" . . . . .	21
2.3.5	Capteur de gaz de type "Non-Dispersive Infra-Red" (NDIR)) . . . . .	23
2.3.6	Capteur de gaz de type "métal-oxyde-semiconducteur" . . . . .	23
2.3.7	Capteur d'humidité de type "résistif" . . . . .	24
2.4	Perspectives . . . . .	25
<b>3</b>	<b>ANALYSE DES PHÉNOMÈNES MIS EN JEU LORS DE SITUATIONS DE CUISINE</b>	<b>29</b>
3.1	Incendies . . . . .	30
3.1.1	Analyse de situations dangereuses . . . . .	30
3.2	Intoxication . . . . .	36
3.2.1	Analyse de situations dangereuses . . . . .	36
3.2.2	Évaluation de méthodes de prévention du danger d'intoxication . . . . .	36
3.3	Brûlures . . . . .	37
3.3.1	Les brûlures au niveau physiologique . . . . .	37
3.3.2	Évaluation de méthodes de prévention du danger de brûlures . . . . .	39
3.4	Résumé . . . . .	40

4

<b>PRÉVENTION DES DANGERS GRÂCE À DES CAPTEURS</b>	<b>47</b>
4.1 Développement de la chaîne d'acquisition . . . . .	47
4.1.1 Intégration des capteurs dans l'environnement de la cuisinière . . .	47
4.1.2 Développement de la chaîne d'acquisition . . . . .	49
4.1.3 Résumé . . . . .	53
4.2 Tests unitaires des capteurs . . . . .	56
4.2.1 Description des conditions expérimentales . . . . .	57
4.2.2 Tests unitaires sur le capteur de présence SRF02 . . . . .	59
4.2.3 Tests unitaires sur le capteur d'humidité H1H-5030 . . . . .	67
4.2.4 Tests unitaires sur le capteur de température MLX90614 . . . . .	75
4.2.5 Tests unitaires sur les capteurs de gaz . . . . .	83
4.2.6 Résumé . . . . .	90
4.3 Prévention des dangers : algorithmes, tests, résultats . . . . .	91
4.3.1 Algorithme de prévention . . . . .	92
4.3.2 Tests et résultats . . . . .	93
4.4 Résumé . . . . .	96
<b>5 CONCLUSION</b>	<b>97</b>
5.1 Résumé des travaux effectués . . . . .	97
5.2 Contributions originales . . . . .	98
5.3 Travaux futurs . . . . .	99
<b>LISTE DES RÉFÉRENCES</b>	<b>101</b>

# LISTE DES FIGURES

1.1	<i>Figure représentant l'appartement de DOMUS . . . . .</i>	1
1.2	<i>Statistiques sur les incidents domestiques, sur les USA . . . . .</i>	3
2.1	<i>Schéma de principe des détecteurs de fumée de type photo-électrique et ionisant . . . . .</i>	19
2.2	<i>Schémas de principe des capteurs de gaz électro-chimique . . . . .</i>	20
2.3	<i>Illustration du champ de vision d'un capteur infra-rouge : plus il est réduit, plus la zone englobée par le capteur est petite. R est le rayon du cercle correspondant au champ de vision. . . . .</i>	23
2.4	<i>Schéma de fonctionnement d'un capteur semi-conducteur . . . . .</i>	24
3.1	<i>Exemple de dégradation d'une tri-glycérides sous l'effet de la chaleur : libération de glycérol et d'acides gras (notés R) [13]. . . . .</i>	31
3.2	<i>Évolution de la concentration en gaz pour différents plats, pour une cuisinière électrique [21] . . . . .</i>	35
3.3	<i>Illustration de la dépendance temps-température de la peau dans la gravité des brûlures. En abscisses, le temps en secondes sur une échelle logarithmique. En ordonnées, la température en degré Celsius de la surface de la peau d'un cochon, proche de la peau humaine. Les données de cette courbe sont donc exploitables dans le cas de la peau humaine. La courbe en pointillé représente le seuil de brûlures du deuxième degré. La courbe pleine est le seuil de brûlures du troisième degré [27]. . . . .</i>	42
4.1	<i>Photos de la "carte capteur" et de son déploiement . . . . .</i>	49
4.2	<i>Disposition des données des capteurs dans une trame, transmise par le MSP430 au PC via le port série. . . . .</i>	51
4.3	<i>Interface graphique Matlab, avec la fenêtre principale en arrière-plan. Au premier plan, la fenêtre qui affiche l'historique. . . . .</i>	53
4.4	<i>Photographie du système InOvUS dans la cuisine du laboratoire DOMUS. . . . .</i>	54
4.5	<i>Diagramme illustrant le développement de la chaîne d'acquisition. . . . .</i>	55
4.6	<i>Photo des ustensiles utilisés pour les tests, ainsi que la disposition de la cuisinière. La plaque choisie est celle du fond, à gauche. . . . .</i>	59
4.7	<i>Déploiement du capteur ultra-son SRF02. Il est enfiché dans une boîte en carton de manière à ce qu'il reste stable. . . . .</i>	60
4.8	<i>Position sur la plaque des ustensiles pour les tests du capteur SRF02. Les points correspondent à la position du centre de l'ustensile. . . . .</i>	61
4.9	<i>Figures illustrant la dépendance des mesures du SRF02 à la taille de l'ustensile. . . . .</i>	64
4.10	<i>Figures illustrant respectivement la zone de détection d'un objet idéale et celle du système actuel. Les lignes de frontière correspondent aux positions du centre de l'ustensile. . . . .</i>	66

4.11	<i>Figure illustrant le taux d'humidité quand l'eau bout dans différentes situations : bouilloire, casserole, casserole avec un couvercle. . . . .</i>	68
4.12	<i>Diagramme résumant l'évolution du niveau de danger détecté par le système (en rouge) pour des situations normales. Le niveau de danger réel (en vert), évalué grâce à la méthode résumée au tableau 4.4, sert de point de comparaison pour évaluer les performances du système. . . . .</i>	74
4.13	<i>Position des 2 capteurs MLX90614 dans l'environnement de la cuisinière. .</i>	76
4.14	<i>Résumé des résultats obtenus dans le cadre de la prévention des brûlures par contact. . . . .</i>	82
4.15	<i>Figures illustrant les réponses des capteurs de gaz TGS2620 (courbe vert foncé) et MICS5521 (courbe vert clair) à différentes situations de cuisson. . . . .</i>	85
4.16	<i>Figure résumant l'espacement, sur la tension de sortie des capteurs TGS2620 et MICS5521, entre les situations de cuisson normales et dangereuses . . .</i>	88
4.17	<i>Concentration en CO durant différentes situations de cuisson. Mesures prises à la fin de ces situations. . . . .</i>	89
4.18	<i>Position de l'ensemble des capteurs dans l'environnement de la cuisinière. .</i>	91
4.19	<i>Évolution du danger général de brûlure dans deux cas de cuisson normales. . . . .</i>	95

# LISTE DES TABLEAUX

3.1	<i>Acides gras majoritaires dans la composition des huiles. . . . .</i>	30
3.2	<i>Tableau résumant la composition des fumées de cuisine et du comportement de l'huile quand elle chauffe [12, 18, 23, 38]. . . . .</i>	32
3.3	<i>Tableau montrant la composition de certaines viande. . . . .</i>	33
3.4	<i>Tableau résumant la composition de la fumée lors de la cuisson d'une viande, et du comportement dynamique de celle-ci [31]. . . . .</i>	33
3.5	<i>Tableau résumant les choix de capteurs du projet InOvUS (partie 1). . . . .</i>	41
3.6	<i>Tableau résumant les choix de capteurs du projet InOvUS (partie 2). . . . .</i>	43
4.1	<i>Tableau résumant les émissivité des ustensiles utilisés pour les tests. . . . .</i>	58
4.2	<i>Tableau des mesures de distance effectuées par le SRF02, en fonction de l'ustensile et de sa position sur la plaque. . . . .</i>	62
4.3	<i>Tableau illustrant le taux d'humidité selon la température de l'eau en train de bouillir. . . . .</i>	70
4.4	<i>Méthode d'évaluation du niveau de danger de brûlures . . . . .</i>	72
4.5	<i>Tableau résumant le temps de détection des situations dangereuses . . . . .</i>	73
4.6	<i>Tableau résumant l'influence de la hauteur du capteur, et donc de son champ de vision, sur la mesure de la température de la plaque de cuisson. . . . .</i>	77
4.7	<i>Tableau résumant les tests réalisés sur différentes situations d'eau bouillante. La dernière ligne concerne des tests où l'ustensile est vide. . . . .</i>	78
4.8	<i>Tableau résumant les valeurs seuils des différents niveau de danger pour les brûlures par contact. . . . .</i>	80
4.9	<i>Table de vérité pour calculer le niveau global de danger de brûlure. . . . .</i>	93



# LEXIQUE

<b>Terme technique</b>	<b>Définition</b>
ppm (partie par million)	Rapport de $10^{-6}$ . Par exemple, en chimie, 1 ppm de gaz dans l'air à une pression et température données équivaut à un rapport d'une molécule de ce gaz pour 1 million de molécules d'air.
Coefficient d'émission	Rapport entre l'énergie rayonnée, à une certaine longueur d'onde, par un corps et celle que rayonnerait un corps noir soumis à la même température
Coefficient d'absorption	Rapport entre l'énergie absorbée, à une certaine longueur d'onde, par un corps et celle que rayonnerait un corps noir soumis à la même température
Coefficient de réflexion	Rapport entre l'énergie réfléchie, à une certaine longueur d'onde, par un corps et celle que rayonnerait un corps noir soumis à la même température



# LISTE DES ACRONYMES

<b>Acronyme</b>	<b>Définition</b>
ANSES	Agence Nationale de Sécurité Sanitaire
COF	Cooking Oil Fumes
CPSC	united states Consumer Product Safety Commission
DOMUS	DOMotique et informatique Mobile à l'Université de Sherbrooke
INOVUS	INtelligent OVen at University of Sherbrooke
LPG	Liquid Petroleum Gas (gaz inflammable)
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
NIST	National Institute of Standards and Technology
PAH	Polycyclic aromatic hydrocarbons (polluant atmosphérique)
VOC	Volatile Organic Compound (famille qui regroupe tous les composants chimiques possédant une majorité d'atomes de carbone et d'oxygène, et qui se trouvent sous forme de gaz)



# CHAPITRE 1

## INTRODUCTION

### 1.1 Mise en contexte et problématique

Dans l'optique de développer des systèmes pour aider les personnes âgées ou ayant des troubles cognitifs sévères, le laboratoire DOMUS cherche à étudier les activités que peuvent avoir ces personnes dans leur vie quotidienne, à l'intérieur de leur habitat (par exemple pour la pratique de la cuisine).

En ce sens, le laboratoire a été conçu pour mener des recherches sur les habitats intelligents. Un appartement a été construit dans le laboratoire avec différents types de capteurs pour détecter de l'activité (voir figure 1.1). À noter qu'il n'y aucune caméra vidéo, par respect de l'intimité de la personne. Ces capteurs sont reliés à des serveurs, chargés de récupérer les informations. Éventuellement, les serveurs abritent des applications informatiques, visant à donner de l'intelligence à l'appartement (analyse de la situation, prise de décision). Cette infrastructure permet de tester des techniques de sécurisation d'un habitat, à l'aide de capteurs, par exemple pour détecter et prévenir les situations dangereuses. L'idée de prévention est importante, car l'appartement n'a pas été construit pour expérimenter des situations de risque *in vivo* : on ne peut pas mettre le feu à la cuisinière pour tester une application de sécurité, par exemple.

Les recherches au laboratoire visent, en premier lieu, les personnes atteintes de troubles cognitifs. Ce terme général réfère à des altérations des facultés intellectuelles : mémoire, jugement, compréhension, raisonnement, concentration, attention. Quand ces altérations sont assez sévères pour troubler la vie de tous les jours, on parle de *démence*. Pour une personne atteinte de la maladie d'Alzheimer par exemple, les manifestations sont graduelles. Cela commence par une altération légère de la mémoire à court terme (difficulté à mémoriser de nouvelles informations, par exemple). Puis, progressivement, la mémoire à long terme est atteinte (altération de l'orientation spatiale et temporelle, par exemple).

On peut citer d'autres maladies à l'origine de démences : Parkinson, Creutzfeldt-Jakob (vache folle), démence du lobe frontal. On ne sait pas encore précisément comment ces maladies se déclarent, il n'existe donc pas de traitement. Cependant, dans le cas de la maladie d'Alzheimer par exemple, l'espérance de vie est élevée : on peut vivre pendant

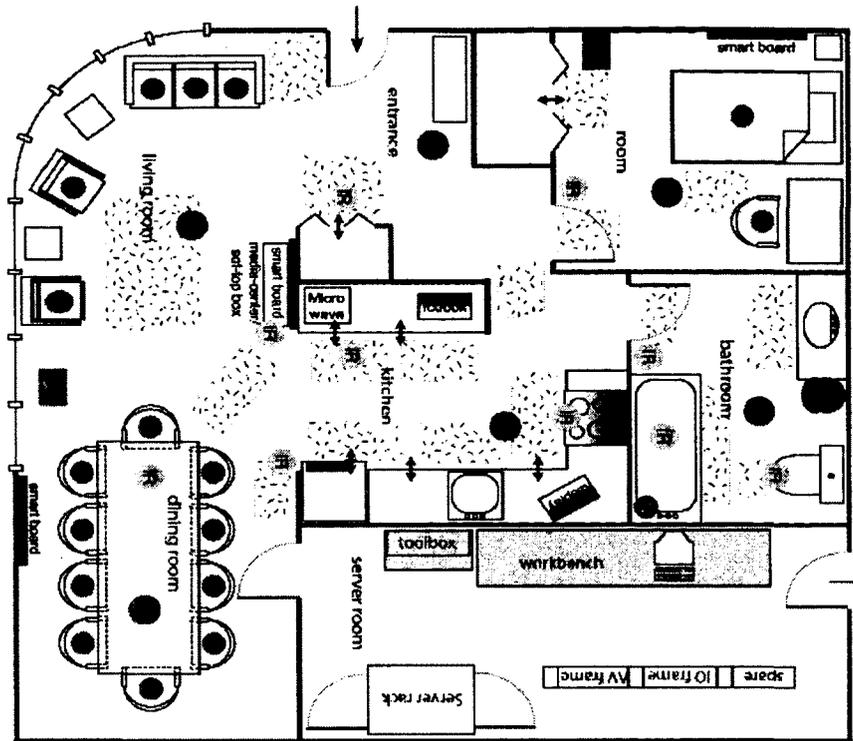
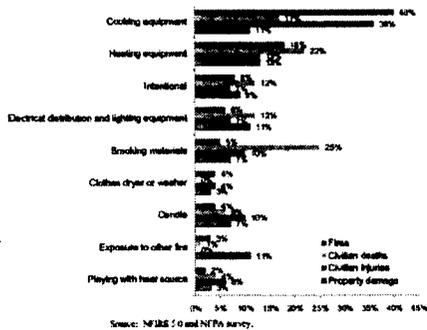


Figure 1.1 *Figure représentant l'appartement de DOMUS*

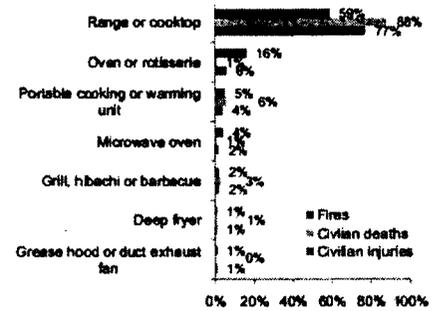
10-15 ans avec ([5]). De plus, cette maladie touche une grande part de la population de plus de 65 ans (5 millions de personnes aux États-Unis). Sachant que l'espérance de vie est en constante augmentation dans les pays dits "développés" (grâce aux progrès de la médecine), le nombre de malades va inévitablement augmenter dans les années à venir, impliquant d'autres personnes autour (proches et personnel médical). Il semble donc important de réfléchir aux moyens d'encadrer le malade dans sa vie quotidienne, notamment dans la cuisine.

La cuisine est un endroit dangereux dans l'habitat (brûlures, incendies, intoxication), quel que soit l'occupant. La figure 1.2 justifie ce constat par des chiffres. Par exemple, sur la période 2003-2007 aux États-Unis, une grande partie des incendies sur des structures résidentielles impliquaient des équipements de cuisine : 150,000 par an, sur les 380,000 incendies annuels enregistrés (figure 1.2(a)). De plus, la plupart des incendies avaient pour origine la cuisinière (figure 1.2(b)). Hors, comme le montre le graphique 1.2(d), il y a seulement 16% des incendies liés à des appareils de cuisine qui ont été détectés par les détecteurs de fumée installés. De plus, sur l'année 2008 toujours aux États-Unis, un nombre important de brûlures ont eu pour origine un contact avec des ustensiles de cuisine (figure 1.2(c)). Ces accidents pourraient être évités si la personne avait été prévenue du danger. Dans cette optique, le travail préliminaire est d'identifier les dangers liés à l'utilisation

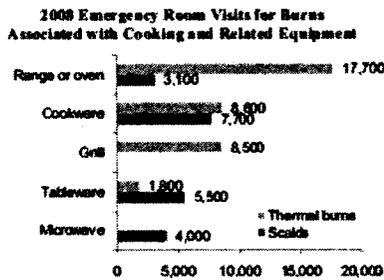
de la cuisinière. Ce travail a été mené avec Denis Jouvie, un stagiaire du DOMUS. Des études de cas d'utilisation typiques d'une cuisinière (préparation d'un thé, par exemple) ont été réalisées, pour ressortir les dangers récurrents, les situations dangereuses et les informations nécessaires pour contrôler ces situations. Il en ressort que les 3 dangers à prévenir sont les risques d'intoxications, de brûlures, d'incendies.



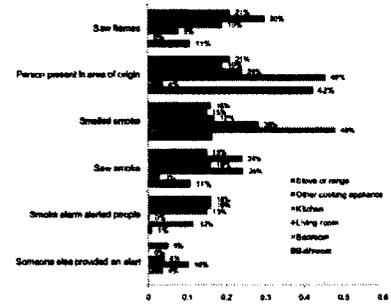
(a) Statistiques sur les incendies dans des structures résidentielles (2003-2007) ([3])



(b) Statistiques sur les incendies impliquant des appareils de cuisine (2003-2007) ([3])



(c) Statistiques sur les brûlures (2008) ([2])



(d) Statistiques sur les alarmes (2004-2005) ([2])

Figure 1.2 Statistiques sur les incidents domestiques, sur les USA

### 1.1.1 Problématique

En résumé, on a un environnement (la cuisine) qui peut être le théâtre d'accidents, en grande partie à cause de l'utilisation de la cuisinière (incendies et brûlures, auxquels on peut rajouter les intoxications). Ces accidents, s'ils sont relativement rares, se révèlent toujours dangereux et causes de blessures ou même de décès.

La norme actuelle, pour sécuriser cette partie de l'habitat, est de faire appel à des détecteurs de fumée, bien qu'ils ne protègent que contre les incendies et les intoxications. Ceux qui sont rencontrés le plus souvent dans les habitations sont obsolètes, pour des

raisons qui seront exposées par la suite. La dernière vague de détecteurs, qui commence à percer, embarque plusieurs capteurs, généralement de gaz et de température, et un micro-contrôleur. De cette manière, les informations renvoyées par les capteurs peuvent être utilisées par un algorithme d'intelligence artificielle, de façon à obtenir une détection plus fine. Les projets de recherche touchant à la sécurité autour de la cuisinière, rencontrés dans la littérature, sont basés sur cette approche. Ils regroupent des domaines variés de l'ingénierie : intelligence artificielle, informatique embarquée, contraintes temps réel, électronique, capteur.

## 1.2 Définition du projet de recherche

Actuellement, les moyens disponibles pour sécuriser l'utilisation de la cuisinière semblent insuffisants. Premièrement, on ne trouve pas de solutions générales qui prennent en compte tous les dangers, dans le commerce ou dans la littérature. Généralement, seuls les incendies sont pris en compte, sans doute parce qu'ils occasionnent le plus de dégâts. Et même ces appareils ou projets peuvent être améliorés. En effet, l'objectif premier d'un détecteur d'incendie est justement de détecter un incendie le plus rapidement possible, de façon à ce que les secours arrivent vite. Dans tous les cas, l'incendie n'est pas évité. En travaillant avec une optique de prévention, les accidents pourraient être évités.

Dans le cas où l'habitant est une personne atteinte de troubles cognitifs, il n'existe aucun moyen de sécurité, en dehors de l'assistanat par une personne. Il faut donc que la personne accepte l'idée qu'elle a besoin d'aide et qu'elle n'est plus totalement autonome, ce qui peut nuire fortement à son moral. Or, le bien-être de la personne est un paramètre important dans le combat contre la maladie ([5]). L'intérêt est donc double. Au-delà de l'aspect sécurité, l'autonomie de la personne est préservée.

Ces considérations amènent la question de recherche : *Comment réduire tous les risques liés à l'utilisation d'une cuisinière, de manière préventive ?*

Le projet InOvUS a été conduit pour répondre à cette question, grâce un développement d'un système de prévention des dangers avec des capteurs. Pour cela, une revue de littérature a été faite. Cette étude a permis de dégager une approche générale du problème : plusieurs capteurs donnant des informations sur l'environnement à une entité informatique plus puissante qui prendra les décisions. En grande majorité, les solutions existantes travaillaient à la détection de situations dangereuses, à partir de données expérimentales

d'exemples de ces situations. Cependant, il n'existe pas de solution de sécurité autour de la cuisinière qui adopte une approche préventive.

L'orientation du projet InOvUS est donc, d'une part, de réutiliser les travaux existants concernant le choix des informations à surveiller, dont découleront des choix de capteurs. Ensuite, d'autres domaines de recherche au delà de la sécurité dans la cuisine seront mis contribution, pour la partie prise de décision.

## 1.3 Objectifs du projet de recherche

L'objectif global du projet InOvUS est donc d'apporter une preuve de concept à une solution de sécurité globale et préventive autour de l'utilisation d'une cuisinière. Il est décomposé en 3 objectifs principaux :

**Choix des informations à surveiller** Pour chaque danger (intoxication, brûlure, incendie), des paramètres physiques considérés comme des marqueurs devront être identifiés. Le terme marqueur renvoie au fait que ces paramètres doivent être représentatifs de la situation, de façon à pouvoir discriminer une situation normale d'une situation potentiellement dangereuse. Il faudra ensuite trouver des capteurs adéquats.

**Intégration dans l'environnement** Pour qu'une telle solution soit acceptée par l'utilisateur, il est nécessaire que l'installation ne perturbe en rien ses habitudes. Le système qui sera présenté a été pensé pour être installable le plus facilement possible dans l'environnement immédiat d'une cuisinière. Il intègre aussi la notion de modularité : l'ajout d'un nouveau capteur est possible.

**Prise de décision sur la dangerosité de la situation, en temps réel** Les données des capteurs seront récupérées par une entité informatique plus puissante, comme un PC, pour cette partie. La prise de décision sera imaginée dans une optique de prévention. Le but n'est pas encore de réaliser une prise de décision parfaite, mais plutôt d'apporter des pistes sur le genre de solution qui serait adapté.

Tout cela s'accompagnera de tests "sur le terrain", c'est-à-dire dans la cuisine du laboratoire.

## 1.4 Contributions originales

Le côté innovant du projet InOvUS repose sur 2 idées : la prévention et l'intégration dans l'environnement. Les contributions originales vont dans ce sens.

Le concept du projet InOvUS et les résultats obtenus sont originaux. En effet, il n'existe pas à ce jour, selon la revue de littérature, de solution qui protège l'utilisateur d'une cuisinière des incendies, des brûlures et des intoxications. Beaucoup de projets se concentrent sur les incendies, et beaucoup ont travaillé sur des données statiques. Le fait même que des résultats substantiels ont été obtenus sur la prévention de ces 3 dangers à la fois en temps réel est une contribution.

Les capteurs ont été choisis selon une méthode d'analyse en profondeur des situations dangereuses : évolution de grandeurs physiques (température ambiante ou taux d'humidité), chimiques (quantité de fumée ou concentration en gaz). L'ensemble de cette étude a permis d'engranger des connaissances précises sur les phénomènes physiques et chimiques mis en jeu lors des cuissons d'aliments. Elles vont être très utiles pour prévenir les dangers de manière efficace. Cette étude est aussi une base solide pour justifier à priori les choix des capteurs.

Les tests réalisés étaient orientés d'une manière spécifique, pour satisfaire les exigences grand public d'un tel système. Du choix des ustensiles jusqu'aux situations imaginées, tout a été choisi pour ne pas se focaliser que sur les cas idéaux, dans lesquels les performances des capteurs sont garanties. De cette manière, le système sera adapté à un large public, et pas seulement aux personnes âgées. Cette logique a d'une part mis en exergue certaines limites des capteurs, mais surtout a contribué à la constitution d'une base de connaissances sur les situations de cuisine. Cette base s'avère nécessaire quant à l'élaboration des prises de décision. Mais il va aussi être montré qu'il n'est pas forcément nécessaire d'avoir des données de tests sur les situations à risque. Des techniques qui permettent de s'en affranchir existent. Il est intéressant d'avoir fait cette étude, car cela permettra de créer des solutions sans partir à la recherche d'un environnement sécurisé pour tester les cas à risque.

Enfin, il existe maintenant une chaîne d'acquisition fonctionnelle au laboratoire DOMUS, qui permet de réaliser ses propres expérimentations. Elle est assez facile à déployer et parfaitement réutilisable, à condition de disposer d'un peu de place sur le plan de travail pour installer un ordinateur portable. Une interface Matlab a été développée pour l'acquisition de données : affichage temps réel, sauvegardes des données dans un fichier d'historique.

## 1.5 Plan du document

Le document s'organise comme ceci. Au chapitre 2, la revue de littérature est présentée. Le chapitre 3 présente les analyses de situations qui ont conduit au choix des capteurs. La section 4.1 présente le développement et le déploiement de la chaîne d'acquisition des

informations sur l'environnement de la cuisinière. La section 4.2 présente les tests effectués sur chaque capteur. Enfin, la section 4.3 présente comment les informations collectées dans le chapitre précédent peuvent servir un objectif de plus haut niveau : la prévention des dangers en général.



# CHAPITRE 2

## ÉTAT DE L'ART

L'importance de moyens de sécurisation dans la cuisine a été montrée dans l'introduction. Les statistiques, les expériences de la vie de tous les jours montrent que c'est l'un des endroits les plus dangereux d'un habitat, quels que soient les utilisateurs. Les dangers ont très souvent trait à l'utilisation de la cuisinière. Ce chapitre présente ce qui existe dans le domaine de la sécurisation de la cuisine. L'attention s'est portée sur les réponses apportées aux 3 objectifs du projet InOvUS : choix des informations à surveiller, intégration dans l'environnement, prise de décision. Le but est de mettre en exergue pourquoi ces appareils répondent ou non aux besoins de sécurité dans la cuisine. De cette façon, les axes de travail du projet InOvUS pourront être tracés. La section 2.1 dresse un portrait des solutions de sécurité commerciales. La section 2.2 adresse les solutions à l'état de recherches. La section 2.3 présente les capteurs existants sur le marché.

### 2.1 Solutions de sécurité commerciales

Cette section présente des solutions de sécurité en vigueur dans le commerce, dans l'ordre chronologique d'apparition sur le marché. Le fonctionnement de chaque appareil est décrit en profondeur.

#### 2.1.1 La première génération de détecteurs de fumée

L'un des premiers moyens de sécurisation de l'espace cuisine a été les détecteurs de fumée, ayant pour but de détecter les incendies. Les détecteurs de fumée sont des appareils qui détectent si la quantité de fumée est trop élevée et déclenchent une alarme en conséquence. Ces appareils sont encore très répandus de par leur prix très bas. L'utilisation d'un détecteur de fumée est très répandue dans les pays anglo-saxons, et est devenue obligatoire en France<sup>1</sup>. Il en existe de 2 types : photo-électrique et ionisant. L'un comme l'autre s'installent au plafond de la cuisine et surveillent la quantité de particules de fumée présentes dans l'environnement, mais de manière différentes. Leur problème principal est le taux très élevé de fausses alarmes, qui entraîne un manque de confiance de la part de

---

1. <http://www.detecteurdefumee.eu/>

l'utilisateur. Ce dernier finira éventuellement par débrancher l'appareil. C'est une faiblesse majeure pour un appareil de sécurité. Leur fonctionnement précis, leurs défauts sont décrits dans la suite du document (respectivement aux sous-sections 2.3.1 et 2.3.2).

Les défauts de ces détecteurs semblent rédhibitoires. Cette affirmation se vérifie dans les faits. *Pfister* ([29]) rapporte des statistiques faites en Suisse dans les années 90. Chaque intervention des pompiers due à une alarme antifumée ont été notifiées, et il en ressortait que 93% du temps, c'était pour une fausse alarme. Ces données sont corroborées par des expériences de la vie de tous les jours : l'alarme antifumée qui se déclenche pour le grille-pain, et qui finit par être débranchée. Le décalage, entre résultats et besoins, conduit à une totale perte de confiance de l'utilisateur dans l'appareil.

### 2.1.2 Améliorations apportées sur les détecteurs de fumées

Les défauts des premiers détecteurs étant très importants, la génération suivante s'attèle à les corriger. L'idée de base reste la même : détecter le plus rapidement possible les incendies en surveillant la quantité de fumée. La surveillance de la fumée se fait très souvent avec des détecteurs de type photo-électrique, mais la détection générale combine plusieurs paramètres. En effet, beaucoup d'études ont démontré que l'utilisation de plusieurs capteurs apportait une meilleure connaissance sur l'environnement ([8, 15, 29]). Ce qui existe sur le marché peut porter le nom de détecteur d'incendies, car ils intègrent plusieurs capteurs avec une prise de décision plus intelligente. Par exemple, la société Bosch propose des appareils combinant une chambre photo-électrique classique et une thermistance<sup>2</sup>, qui fournissent 2 signaux analogiques. Ils sont analysés par un circuit analogique d'analyse interne, qui décidera si la combinaison des 2 informations correspond à une situation dangereuse ou non. La température renvoyée par la thermistance peut être analysée telle quelle, ou convertie en différentiel de température. Le même boîtier intègre aussi un capteur de monoxyde de carbone de type électro-chimique, pour adresser le danger d'intoxication à ce gaz. Le fonctionnement de ce genre de capteur sera explicité par la suite (sous-section 2.3.3).

Au milieu des années 1990, la miniaturisation constante des circuits électroniques a ouvert de nouveaux horizons. Il était possible d'embarquer des unités de calculs et de la mémoire. La société Siemens a illustré comment bien exploiter ces possibilités, via 2 gammes de détecteurs. En 1994, la technologie Algorex<sup>©</sup> voit le jour<sup>3</sup>. L'innovation vient de l'intégration d'un micro-contrôleur et de mémoire, rendant possible l'intégration d'algorithmes évolués

---

2. Bosch : gamme FCP-320

3. <http://www.algotechfire.com.au/products.asp>

(logique floue ou analyse multicritère, par exemple). Les résultats obtenus sont probants, en comparaison des détecteurs de l'époque. *Pfister* ([29]) encore une fois, donne des statistiques sur les détecteurs Algorex<sup>©</sup> de Siemens : 4.6% de fausses alarmes et 50% des feux détectés. Sur le plan de la convivialité (fausses alarmes), il y a une grosse amélioration. Mais le taux de détection restait faible pour un appareil de sécurité. Les nouvelles gammes Siemens sont appelées Sinteso<sup>TM</sup>. Ils utilisent là aussi des capteurs photo-électriques et des thermistances, mais intègrent des routines de traitement de données et des algorithmes plus évolués<sup>4</sup>. En particulier, ASAtechnology<sup>TM</sup> permet d'extraire les informations pertinentes des données des capteurs selon un jeu de paramètres modifiable en fonction de l'environnement. Le détecteur peut donc s'adapter à l'endroit à un maximum de situations, ce qui doit augmenter les performances. Aucune étude statistique n'a été trouvée pour corroborer ces affirmations.

L'étude de la génération actuelle de détecteurs d'incendies amène plusieurs réflexions. Tout d'abord, il semble qu'une manière efficace d'adresser le danger d'incendie est de s'intéresser aux fumées dégagées. L'utilisation d'algorithmes évolués améliore les performances de la détection. En appliquant ces principes, la cuisine en général est bien protégée contre les incendies, dans le sens où la détection est tellement rapide que les secours ont le temps d'intervenir avant la propagation du feu. L'amélioration à apporter est claire. Dans une optique de prévention plutôt que de détection, les incendies ne se déclareraient même pas. Pour le projet InOvUS, cela passe par un travail constant en ce sens, du choix des capteurs à leur position dans l'environnement, en passant par les algorithmes de prise de décision.

### 2.1.3 La sécurité dans les appareils électroménagers du commerce

Les sources de dangers dans la cuisine proviennent de la cuisson des aliments. La plupart des maisons sont équipées d'appareils électroménagers dédiés à cet effet, il serait donc normal de voir ces appareils s'adapter aux contraintes de sécurité. La plupart des fabricants offrent des versions intelligentes de leurs appareils, les rendant plus simples d'utilisation et conviviaux. Par exemple, ElectroLux propose depuis 2008 son four Inspiro, qui intègre des modes de cuisson préprogrammés<sup>5</sup>. Selon le mode choisi par l'utilisateur, le four calcule lui-même le temps de cuisson et la température. On peut aussi citer la société TMIO, qui commercialise des fours dotés d'un écran tactile, d'une prise réseau pour le contrôler à distance et qui font aussi office de réfrigérateur<sup>6</sup>. Néanmoins, certains constructeurs

---

4. <http://www.buildingtechnologies.siemens.com/bt/global/en/firesafety/fire-detection/sinteso-fire-safety-system/detectors/Pages/detectors.aspx>

5. <http://www.appareilselectrolux.ca/>

6. <http://www.tmio.com/products/>

proposent des fonctionnalités de sécurité, comme Whirlpool qui, sur certaines de leurs cuisinières, intègre un voyant qui prévient qu'une plaque est chaude<sup>7</sup>. On retrouve cette fonctionnalité sur beaucoup de cuisinières, mais elle n'adresse pas efficacement le danger des brûlures. En effet, l'utilisation quotidienne prouve que le voyant est trop bien intégré et qu'il s'oublie facilement.

La remarque évidente est qu'aucun constructeur électroménager n'intègre de vraies fonctionnalités de sécurité dans leurs appareils. L'intégrité des biens et des personnes doit être assurée par des systèmes externes, comme des détecteurs de fumée ou les appareils présentés ci-après.

### 2.1.4 Appareils externes dédiés à la sécurité de la cuisinière

Si le besoin de sécurité additionnel sur la cuisinière se fait sentir, il faut se tourner vers des appareils spécifiques. La plupart sont développés pour aider les personnes âgées ou atteintes de troubles cognitifs. En ce sens, la constatation première faite par ces fabricants est que la cause d'accidents dans la cuisine la plus répandue est l'inattention ([1, 2, 11]). Les appareils développés n'adressent pas de dangers en particulier, seulement le risque général d'accidents. Les 3 appareils présentés dans cette sous-section travaillent selon cette approche.

Le StoveGuard adresse l'inattention de la personne au niveau de la détection de présence autour du plan de travail<sup>8</sup>. Le principe est simple : si le système ne détecte aucune présence humaine pendant un temps donné (réglable par l'utilisateur), alors il coupe l'alimentation de la cuisinière. Celle-ci sera remise en marche quand quelqu'un repassera à côté du plan de travail. Il est construit en 2 boîtiers. Le premier est celui qui va surveiller l'environnement, via un capteur passif infra-rouge. Ce type de capteur est sensible au rayonnement infra-rouge, produit par tout corps ayant une température supérieure à 0°C, dont le corps humain. Le fonctionnement est détaillé à la sous-section 2.3.4. La contrainte liée à l'utilisation de la technologie infra-rouge est qu'il ne faut pas le placer à proximité d'une autre source de rayonnement, en particulier la cuisinière elle-même. Ce boîtier doit donc être placé ailleurs. C'est pourquoi il est incorrect de dire que ce produit surveille l'activité humaine autour de la cuisinière : il surveille l'activité autour d'un endroit proche de la cuisinière. Le deuxième boîtier est placé entre le secteur et la prise d'alimentation de la cuisinière. Sa fonction est de fournir l'énergie au premier boîtier et d'acquérir l'information

---

7. <http://www.whirlpool.com/>

8. <http://stoveguard.ca/>

du capteur, mais aussi d'agir sur l'alimentation de la cuisinière si nécessaire. À noter qu'il existe une version de ce produit pour les cuisinières au gaz.

Dans le contexte d'InOvUS, les fonctionnalités intéressantes se situent dans l'intégration à l'environnement. Cet appareil se constitue de 2 boîtiers assez facilement installables, qui ne gênent en rien la liberté de mouvement de l'utilisateur. Cet avantage vient du capteur utilisé. En effet, un capteur infra-rouge passif est sans-contacts. Il peut être placé à distance de la cible, à condition de bien l'orienter. C'est une technologie de capteur qui semble intéressante dans le cadre d'une solution comme InOvUS, qui se veut facile d'installation et non-intrusive. Cependant, ce système reste critiquable dans son approche. En effet, assumer que la dangerosité de la cuisinière n'est liée qu'à sa surveillance est incorrect. La cuisson peut très bien être sous contrôle sans que l'utilisateur soit à proximité. Ce produit est donc potentiellement peu efficace au niveau du taux de fausses alarmes.

Le Safe-T-Element est aussi un appareil qui adresse l'inattention, mais à un niveau plus proche de la cuisinière<sup>9</sup>. Il protège plus spécifiquement contre les incendies, en surveillant la température des plaques de cuisson. En assumant que la plaque de cuisson, l'ustensile posé dessus et l'aliment en train de cuire ont des températures similaires, le danger d'incendie peut être prévenu. En effet, les incendies se produisent quand un aliment atteint une température trop importante. L'aliment le plus dangereux est l'huile. L'ignition se situe autour de 350°C, et elle atteint cette température très vite. Le Safe-T-Element intervient ici. Un thermocouple, installé sur les éléments chauffants des plaques, surveille la température. Il est branché à un module de type micro-processeur, installé derrière la cuisinière. Si la température mesurée dépasse les 350°C, un actionneur éteint la cuisinière, et la rallume dès que la température descend en dessous. Ce produit devient rependu aux États-Unis.

L'approche proposée semble performante pour prévenir les incendies. Il n'a pas été trouvé de statistiques pour étayer cette affirmation. La température de la plaque semble être un paramètre à surveiller pour prévenir les dangers d'incendies. Cependant, l'installation de ce produit nécessite un technicien. En effet, le thermocouple est un élément métallique à fixer directement sur l'élément chauffant de la plaque de cuisson. Cette opération n'est pas réalisable par un utilisateur lambda, d'autant plus que l'élément chauffant n'est pas toujours accessible facilement. L'utilisation d'un thermocouple ne semble donc pas aisée. Cependant, d'après la logique énoncée plus haut, la surveillance de la température de

---

9. <http://www.pioneeringtech.com/safe-t-element.html>

l'ustensile ou des aliments pourrait aussi être envisagée. Cette surveillance pourrait être faite avec un autre capteur qu'un thermocouple.

Le StoveTop FireStop adresse aussi l'inattention à un niveau proche de la cuisinière<sup>10</sup>. Il est exclusivement dédié à la protection incendie, et plus particulièrement contre ceux qui ont l'huile comme origine. Le constat est simple, là aussi : l'huile, quand elle s'enflamme, provoque un incendie avec des flammes hautes. Celles-ci atteignent généralement 60cm de hauteur, ce qui les amène pratiquement au niveau d'une hotte. Un appareil installé dans la hotte serait situé à proximité des flammes, et serait en position idéale pour détecter l'incendie. Le StoveTop FireStop se présente comme une boîte de conserve d'une dizaine de centimètre de large, cinq centimètre de hauteur. Il contient une poudre sèche, composée en majorité de bicarbonate de sodium, qui joue le rôle d'extincteur. Un capteur sensible à la chaleur est placé sur le dessous de la boîte. Dès qu'il détecte une température supérieure à un certain seuil, un actionneur ouvre la boîte. La poudre est lâchée sur l'incendie et devrait l'éteindre.

L'appareil est intéressant, car efficace et très facile d'installation. Le procédé pour éteindre l'incendie est certifié pour fonctionner dans un grand nombre de cas. La boîte est fixée à la hotte à l'aide d'un aimant. L'utilisateur n'a donc pas besoin d'un technicien pour installer l'appareil. De même, l'utilisation est transparente : une fois l'appareil en place, l'utilisateur n'a plus à s'en soucier. Néanmoins, l'approche proposée n'est pas innovante. Cet appareil éteint automatiquement et rapidement un incendie, mais ne prévient pas son départ. Sa fonction est donc de limiter les dégâts, pas de les éviter. De plus, à aucun moment il n'y a de rétro-action sur la cuisinière. Par conséquent, elle continuera à chauffer l'ustensile sur une plaque même après un incendie, donnant du temps à de l'huile pour se réenflammer par exemple.

### 2.1.5 Résumé

Cette étude sur les appareils du commerce dédiés à la sécurité de la cuisine a permis de mettre en lumière les manques que peuvent combler le projet InOvUS. Tous ces produits adressent, avec plus ou moins d'efficacité, un ou 2 dangers à la fois. Généralement, c'est le danger d'incendie qui est le plus traité. Aucun appareil ne prévient les brûlures. Mais le point qui retient l'attention est l'orientation choisie par les fabricants : tous ces appareils sont plus pensés pour de la détection rapide que pour de la prévention. En pratique, cela

---

10. <http://www.stovetopfirestop.com/index.php?page=Home>

veut dire que la sécurité de l'utilisateur est privilégiée à son confort. C'est une orientation qui, bien sûr, est difficilement attaquable en théorie. Mais les faits montrent que tout le travail fait sur la sécurité peut être annihilé par les fausses alarmes, car l'utilisateur peut choisir de débrancher son appareil. Le meilleur compromis possible entre sécurité et confort n'a pas encore été trouvé, et le travail est à fournir sur tout les aspects (choix de capteurs, prise de décision, intégration dans l'environnement).

Tous ces appareils donnent, malgré tout, des exemples de surveillance de l'environnement. Par exemple, pour détecter les incendies, la surveillance de la fumée dégagée ou la température des plaques chauffantes sont utilisées. L'analyse des capteurs utilisés donne aussi des idées sur les technologies qui peuvent être reprises pour le projet InOvUS. Les détecteurs photo-électriques et ionisants semblent trop limités dans leurs performances par rapport au besoin de confort. Les thermocouples semblent trop compliqués à mettre en place. Par contre, les capteurs sans-contact infra-rouge ou de gaz (électro-chimiques et métal-oxyde-semiconducteur) sont intéressants : ils peuvent être installés à distance de la cible, peuvent être trouvés à bas prix, et sont simples d'utilisation. La prise de décision, quant à elle, semble plus efficace avec des algorithmes évolués, comme la logique floue. Ce genre de prise de décision s'appuie sur des connaissances précises des phénomènes mis en jeu, que ce soit pour les situations normales ou pour les situations dangereuses.

## 2.2 Solutions de sécurité à l'état de recherche

Après avoir exploré les qualités et les défauts des appareils de sécurité du commerce, cette partie a pour but d'explorer les recherches traitant la sécurisation de la cuisine. Étonnamment, il existe très peu de recherches sur ce sujet en particulier. Il n'existe pas, dans la littérature, de solution générale de sécurité. À la place, des recherches traitant des moyens de sécurisation d'un danger en particulier (incendies, brûlures et intoxication) ont été explorées. Là encore, les études sont peu étendues. À part des conseils généraux d'utilisation d'une cuisinière ([1]), aucun article n'a été trouvé concernant la prévention des brûlures ou des intoxications. En revanche, la détection des incendies est un sujet abordé dans la littérature. Les études ne concernent pas forcément la cuisine, ou même l'habitat, mais donnent quand même des informations intéressantes.

L'objectif de cette section est donc de présenter les innovations apportées par les détecteurs d'incendies à l'état de recherche. Les paragraphes suivants illustrent en particulier comment les 3 objectifs du projet InOvUS (choix des informations à surveiller, intégration dans l'environnement et prise de décision) ont été traités par l'existant. Cette section

met aussi en lumière la méthodologie de travail à suivre pour développer une solution de sécurité. La sous-section 2.2.1 présente tout ce qui a trait aux choix des capteurs. La sous-section 2.2.2 présente les méthodologies utilisées pour construire la prise de décision.

### 2.2.1 Choix des paramètres physiques à surveiller

Après l'innovation des détecteurs de fumée intégrant plusieurs capteurs et un algorithme de prise de décision, le constat a été poussé plus loin : quitte à intégrer plusieurs capteurs, pourquoi ne pas essayer d'acquérir des informations plus spécifiques, autres que la température ambiante et la concentration en particules de fumée? De nombreuses études ([8, 16, 25, 26]) ont montré qu'il était possible de détecter et classifier un incendie en surveillant la concentration de certains gaz (monoxyde de carbone, dioxyde de carbone ou VOC), mais aussi de différencier un incendie d'un début d'incendie avec de meilleurs résultats que les détecteurs du commerce. *Charumporn et al* ([6, 7]) ont prouvé qu'il était possible de classifier les incendies selon leur source de départ, en surveillant un large éventail de gaz et autres paramètres physiques : éthanol, hydrogène, alcools, fréon, hydrocarbures, méthane, taux d'humidité, température ambiante. Ces études n'étaient pas concentrées seulement sur la protection de l'habitat (*Milke* ([25]) a mené son étude pour la protection d'un bateau de la NAVY), mais toutes traitaient un espace de dimension comparable à celui d'une pièce de maison. Le point intéressant est que les capteurs utilisés étaient tous du commerce, et de technologies diverses. Les capteurs de gaz étaient de type "Non Dispersive Infra-Red", électro-chimique, métal-oxyde-semiconducteur. Le capteur d'humidité était un hygromètre de type résistif. La section suivante explique le fonctionnement de ces capteurs.

Une étude conjointe du NIST et du CPSC présente les mêmes conclusions, mais plus dans le contexte du projet InOvUS ([19, 20, 22]). Le but de leurs travaux était de trouver les conditions de départ de feu lors de l'utilisation de la cuisinière. Pour ce faire, ils ont testé différents plats (poisson, viande, pommes frites dans l'huile, etc.), sur différentes cuisinières (à gaz, électrique, avec ou sans hotte), et dans différentes situations (cuisson normale jusqu'à embrasement, cuisson normale puis augmentation soudaine de la température de cuisson jusqu'à embrasement). La conclusion intéressante ici est que la détection de départ de feu semblait possible en surveillant la température ambiante, la température des ustensiles, le taux d'humidité et certains gaz (hydrocarbures, les VOC, les alcools de cuisine, le monoxyde de carbone ou le dioxyde de carbone). Là aussi, des capteurs du commerce ont été utilisés. C'est la seule étude trouvée dont les capteurs ont réellement été installés "sur le terrain". En effet, les différents capteurs ont été installés dans la hotte

de la cuisinière, et reliés en filaire à un voltmètre numérique à plusieurs canaux, lui-même relié à un ordinateur. Cette chaîne d'acquisition n'a bien sûr pas vocation à être facilement intégrable, néanmoins l'installation montre que les capteurs du commerce peuvent fonctionner dans l'environnement de la cuisinière.

### 2.2.2 Méthodologie de prise de décision à partir des données des capteurs

Pour mettre au point un système de prise de décision, que ce soit dans une optique de prévention, de détection ou de classification des incendies, il faut avoir une bonne connaissance du phénomène, comme l'explique *Pfister* ([29]). En pratique, cela veut dire avoir à disposition de nombreuses données de tests et de validation. Toutes les études citées précédemment avaient des objectifs différents, mais sont toutes passées par une phase de tests de leurs capteurs sur des situations normales et dangereuses. *Charumporn et al* ([6, 7]) avaient pour but de classer les incendies selon leur source de départ, et ont travaillé à partir des données de leurs capteurs recueillies auprès d'une douzaine d'exemples d'incendies. *Milke et al* ([16, 26]) travaillaient sur la détection d'incendie, et ont utilisé respectivement 30 et 87 exemples d'incendies. *Johnson* ([19, 20, 22]) a utilisé 42 exemples de situations de cuisson d'aliments normales et anormales. Pour acquérir des connaissances sur les situations anormales, cela nécessite d'avoir à disposition un environnement contrôlé et sécurisé. Quand ce n'est pas le cas, il faut contourner le problème. Pour concevoir son système de détection d'incendies, *Chen* ([8]) a travaillé à partir d'une base de données chinoise.

L'analyse des données de tests et des objectifs initiaux permet, dans un premier temps, de décider comment utiliser les données des capteurs. Dans toutes les études citées précédemment, les concentrations en monoxyde et dioxyde de carbone étaient utilisées. Au contraire, les capteurs de gaz plus généraux (alcools, VOC ou hydrocarbures) n'étaient pas étalonnés. Seule la concentration relative en gaz était prise en compte. La construction d'un algorithme de prise de décision peut ensuite se faire. *Johnson et al* ([16, 19, 20, 22]) ont remarqué que la frontière entre les situations normales et dangereuses correspondait à un seuil sur la tension de sortie des capteurs de gaz. L'algorithme a donc pris la forme de règles sur ces seuils. Dans le cadre de leur classification des incendies selon leur source, *Charumporn et al* ([6, 7]) n'ont pas trouvé de seuils dans les données de leurs capteurs. Ils ont donc décidé d'appliquer un algorithme de plus haut niveau (respectivement un réseau de neurones, et un algorithme de type "k-moyenne").

Une analyse avec un peu plus de recul du problème permet de constater que les situations d'incendies sont finalement plutôt rares par rapport aux situations normales. Elles peuvent par conséquent être considérées comme anormales. Une branche de l'intelligence artificielle adresse justement le problème de la détection des situations anormales. Les techniques regroupées ont pour rôle de détecter les points qui s'écartent trop du modèle des situations normales. La détection d'anormalité est très utilisée dans le domaine des réseaux de capteurs sans fil. Une étude de *Yang* ([40]) montre que les 3 sources d'anormalité dans ce type de réseau sont le bruit, les attaques malicieuses sur le réseau, et les événements dans l'environnement que les capteurs surveillent. Dans le cadre du projet In-OvUS, ce sont les anormalités de type événements qui sont concernées. *Jie* ([39]) a utilisé ces principes pour développer une reconnaissance d'activité humaine anormale. À partir de données expérimentales acquises par des capteurs portés par des humains, un modèle probabiliste des activités normales a été généré. Si une situation rencontrée s'écarte trop de ce modèle, elle est considérée comme anormale. Mais cette branche de l'intelligence artificielle peut s'appliquer à nombre de problèmes. *Dreiseitl* ([10]) a utilisé un classificateur "Support Vector Machine" à une classe pour détecter les patients atteints d'une maladie dont ils n'avaient pas beaucoup de connaissances. Le point commun entre ces 2 travaux est la rareté d'occurrence des situations anormales, mais aussi l'impossibilité d'acquérir des données sur ces situations.

C'est aussi le cas concernant les incendies dans une cuisinière. Ce sont des événements rares. De plus, il faut disposer d'un environnement sécurisé pour tester les situations dangereuses. L'utilisation de ces techniques algorithmiques suppose par contre une connaissance étendue des situations normales. Cela implique aussi d'identifier clairement les situations normales des situations dangereuses. Or, la cuisine est une pratique qui possède autant de possibilités que d'utilisateurs. Il faudrait donc disposer d'une grande quantité de données de tests.

Les algorithmes implémentés sont donc d'une complexité différente selon le phénomène à surveiller, mais aussi selon ce que renvoient les capteurs. L'analyse des données des capteurs en situation permet de s'orienter vers telle ou telle technique. Cette sous-section a mis en lumière que la conception d'algorithmes de prise de décision s'appuient sur les situations de tests. Si l'environnement n'est pas assez sécurisées, des techniques existent pour s'affranchir des données sur les situations dangereuses. En contrepartie, les tests sur les situations normales devront couvrir parfaitement le phénomène.

Cette sous-section portait sur la protection incendies. Les techniques présentées peuvent être considérés comme viables dans le cadre du projet InOvUS.

## 2.3 Technologie de capteurs existant sur le marché

Les sections précédentes présentaient l'étude de l'existant en matière de sécurité de la cuisine, et d'un habitat en général. Les solutions et appareils y figurant intègrent tous des capteurs pour surveiller l'environnement. Il est intéressant de noter que les technologies de capteurs utilisées sont récurrentes. Cette section se propose d'analyser leur fonctionnement, afin de faire une première sélection en vue du choix des capteurs pour le projet InOvUS. Les objectifs généraux du projet InOvUS ne doivent donc pas être perdus de vue : choix pertinent des informations à surveiller, intégration dans l'environnement, prise de décision sur la dangerosité de la situation en temps réel. Cela implique que les capteurs doivent satisfaire quelques contraintes :

- Sélectivité
- Facilité d'intégration
- Simplicité d'utilisation
- Temps de réponse
- Résistance aux perturbations (changement de température ou du taux d'humidité, par exemple)

Cette section a pour but d'analyser chaque technologie de capteur rencontrés dans la littérature, et d'identifier les forces et faiblesses de chacune dans le contexte du projet InOvUS. Cette analyse est la première phase dans le choix des capteurs. De plus, cette section servira de référence concernant le fonctionnement de ces derniers, si d'aventure le choix se porte sur certaines des technologies présentées ci-après. Les sous-sections 2.3.1 et 2.3.2 présente respectivement les détecteurs de fumée de type photo-électrique et ionisant. Les sous-sections 2.3.3, 2.3.5 et 2.3.6 présentent les capteurs de gaz de type électro-chimique, infra-rouge non dispersif et métal-oxyde-semi-conducteur. La sous-section 2.3.4 présente les capteurs de type infra-rouge passif. Enfin, la sous-section 2.3.7 présente les hygromètres de type résistif.

### 2.3.1 Détecteur de fumée de type "photo-électrique"

Les détecteurs photo-électriques utilisent une source de lumière. Le rayon émis, en présence de fumée, va être diffusée. Il suffit donc de placer une cellule photo-électrique

sur le parcours du rayon diffusé. Si le rayon est diffusé, la cellule le détectera et générera une tension électrique, et l'alarme se déclenche. Ce type de détecteur est plus sensible aux larges particules de fumée (particules composées d'un grand nombre de molécules). En effet, elles diffusent beaucoup mieux le rayon lumineux. Ce type de particules est caractéristique des feux à combustion lente (générateur de fumée épaisse)<sup>11</sup>. C'est donc un détecteur qui génère peu de fausses alarmes dans un habitat (peu de fumée épaisse générée dans une situation normale), mais ils ne détectent pas bien les feux produisant des flammes (peu de grosses particules de fumée). La figure 2.1(a) illustre le principe de fonctionnement. Le paramètre surveillé par ce type de détecteur n'est pas pertinent, puisqu'il ne caractérise pas bien un incendie. Il n'est donc pas intéressant d'utiliser cette technologie pour le projet InOvUS.

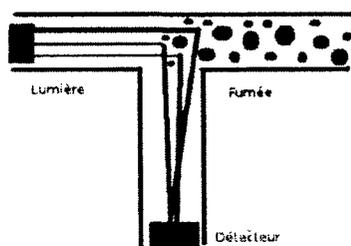
### 2.3.2 Détecteur de fumée de type "ionisant"

Les détecteurs ionisants sont plus complexes, car ils exploitent des particules radioactives (les particules  $\alpha$ ). Ce sont les moins dangereuses (énergie haute, mais très faible pouvoir pénétrant), comparées aux particules  $\beta$  et  $\gamma$ . Dans une chambre remplie d'air, une petite quantité d'américium-241 (isotope radioactif qui génère des particules  $\alpha$  et une petite quantité de particules  $\gamma$  à basse énergie) est placée. Les particules  $\alpha$  générées ionisent les molécules de dioxygène, formant des ions (charge positive) et des électrons (charge négative). Ces éléments chargés sont attirés par les 2 électrodes placées dans la chambre; qui sont branchées à une pile (création de la différence de potentiel qui va attirer les charges). Il y a donc création d'une petite circulation de charge (courant électrique constant). Si des particules de fumée entrent dans la chambre, elles ne seront pas ionisées, car trop épaisses : les particules  $\alpha$  sont absorbées. L'ionisation de l'air est diminuée, tout comme le courant qui circule dans les électrodes. Un circuit électronique détecte la diminution du courant, et déclenche l'alarme. Ce type de détecteur est meilleur pour les petites particules de fumée, ce qui correspond aux incendies générant des flammes. Pour les grosses particules, un détecteur photo-électrique produit de meilleurs résultats. Par contre, les particules  $\alpha$  sont très peu pénétrantes, et beaucoup de molécules peuvent les absorber. En conséquence, l'alarme peut se déclencher en présence de gouttelettes d'eau, de fumée de cuisine, de fumée de cigarettes, de poussière, etc. Le taux de fausses alarmes est élevé. De plus, l'utilisation d'un produit radioactif peut être dérangeante. Même si l'américium-241 ne génère que très peu de rayons  $\gamma$  et est bien encapsulé dans le détecteur, c'est un atome dangereux si on l'inhale. C'est pourquoi ce type de détecteur est interdit dans certains

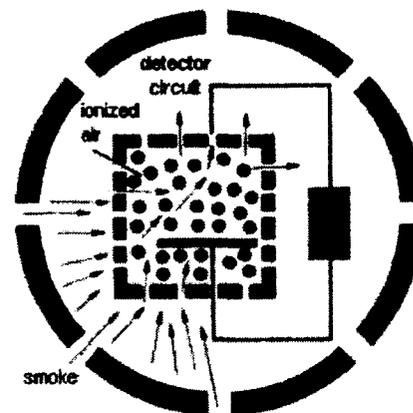
---

11. source du concept : <http://chemistry.about.com>

pays d'Europe (comme la Belgique ou la France). La figure 2.1(b) illustre le principe de fonctionnement. Là encore, le paramètre surveillé n'est pas le bon, car il génère un trop grand nombre de fausses alarmes. Ce type de détecteur ne pourra être utilisé dans le cadre du projet InOvUS.



(a) Schéma de principe d'un détecteur photo-électrique (image réalisée grâce aux explications de [30])



(b) Schéma de principe d'un détecteur ionisateur [30]

Figure 2.1 Schéma de principe des détecteurs de fumée de type photo-électrique et ionisant

### 2.3.3 Capteur de gaz de type "électro-chimique"

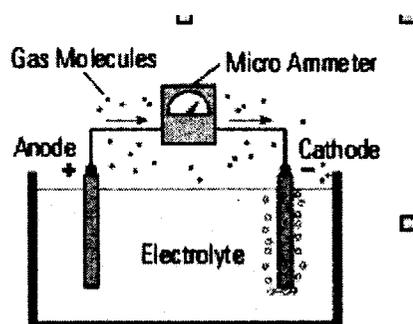
Ce type de capteur reprend le principe d'une pile électrique : une anode (oxydation, *i.e.* perte d'électron) et une cathode (réduction, *i.e.* consommation d'électron), plongées dans une solution (électrolyte, qui est le catalyseur de chaque demi-réaction)<sup>12</sup>. L'anode et la cathode reliées, il y a circulation d'électrons, donc un courant électrique (voir figure 2.2(a)). Plus la concentration en gaz est forte, plus il y a de molécules de gaz à la surface du capteur, et donc plus il y a échange d'électrons. Le courant qui circule est donc bien proportionnel à la quantité de gaz dans l'environnement, ce qui rend ces capteurs simples à brancher. Ils doivent, de plus, être installés à distance de l'environnement à surveiller pour éviter des conditions de température et d'humidité extrêmes. Cela les rend adaptés pour une intégration facile. Cependant, ils sont sensibles aux fluctuations de la température et de l'humidité (nécessité d'appliquer des facteurs correctifs), mais aussi aux autres gaz susceptibles de faire réagir les électrodes. La plupart des capteurs du marché intègrent donc 2 filtres : contre l'humidité et les autres gaz (voir figure 2.2(b)). Ils sont donc assez

12. <http://www.intlsensor.com/technologies.html>

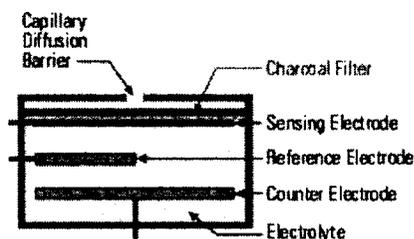
sélectifs pour ne pas produire de fausses alarmes à chaque fumée parasite, mais doivent malgré tout être caractérisés en température.

Il existe 2 types de capteurs électro-chimiques. D'un côté, il y a ceux dont l'élément sensible est solide. Dans ce cas, pour que la réaction d'oxydo-réduction se produise, l'électrode doit être chauffée (400°C environ). Il est donc nécessaire de soumettre le capteur à un système de chauffage pendant un certain temps (24-48h) avant qu'il soit fonctionnel. De l'autre côté, il y a ceux dont l'élément sensible est liquide. Dans ce cas, le capteur fonctionne réellement comme une batterie : il produit un courant sans apport d'énergie.

L'utilisation d'un tel capteur est simple. Il faut seulement lui amener l'énergie électrique (au besoin) et récupérer le signal de sortie. Cependant, la calibration peut s'avérer ardue quant à l'obtention d'une source de gaz et d'un environnement contrôlés. Ils sont assez accessibles au niveau du prix (entre 20\$ et 40\$), et ont un temps de réponse et de récupération assez bas pour faire de la prévention temps réel (entre 15 et 25 secondes). De plus, cette technologie donne des capteurs sans-contact, ce qui facilite leur intégration. Cette technologie semble être un choix pertinent dans le contexte du projet InOvUS.



(a) Principe de fonctionnement d'un capteur électro-chimique [9]



(b) À noter les 2 barrières avant l'élément sensible : barrière hydrophobe (filtrer l'humidité et contrôler le nombre de molécules de gaz à faire passer) et filtre des gaz indésirables [9]

Figure 2.2 Schémas de principe des capteurs de gaz électro-chimique

### 2.3.4 Capteur de type "infra-rouge passif"

Ces capteurs sont sensibles au rayonnement infra-rouge, émis par un corps. Il est sans-contact, et doit être dirigé vers la zone à surveiller. Plusieurs type de capteur exploite cette technologie à des fins différentes.

Il y a tout d'abord les caméras infra-rouge. L'image obtenue est une image de l'ensemble des rayons infra-rouge émis dans la zone surveillée. Avec un algorithme de traitement de l'image en aval, on peut extraire beaucoup d'informations grâce à ce capteur. Par exemple, en mesurant la variation de la signature infra-rouge de la zone, on peut déduire la présence d'un être humain. Il faut cependant que la personne bouge un minimum, sans quoi sa signature infra-rouge pourrait se confondre avec celle de la cuisinière en fonctionnement.

À un niveau plus bas, il y a les capteurs de température. Ces capteurs déduisent la température d'un objet à partir du rayonnement infra-rouge que ce dernier émet. Dans ce cas, il y a échange de chaleur par rayonnement. Le flux infra-rouge est dirigé vers l'élément sensible du capteur grâce à une lentille. À partir du flux, on peut calculer la température de l'objet via l'équation 2.1, tirée de la fiche technique du MLX90614 de Melexis<sup>13</sup>. Cette équation utilise l'équation régissant un échange de chaleur par radiation entre deux corps [17].

$$q = (\epsilon_1 \times \alpha_1 \times T_1^4 \times \sigma) - (\epsilon_2 \times T_2^4 \times \sigma) \quad (2.1)$$

$q$  : Chaleur échangée par les 2 corps par unité de surface. Unité SI : [W.m<sup>-2</sup>]

$\epsilon_1$  et  $\epsilon_2$  : Émissivité de l'élément sensible et de l'objet

$\alpha_1$  : Absorbance de l'élément sensible

$T_1$  et  $T_2$  : Température de l'élément sensible et de l'objet. Unité SI : [K]

$\sigma$  : Constante de Stefan-Boltzmann. Unité SI : [J.s<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup>.K<sup>-4</sup>]

Deux paramètres physiques sont à prendre en compte quant à l'utilisation d'un capteur infra-rouge. Le premier est illustré par les inconnues de l'équation précédente. En dehors de  $T_2$  qui est à déterminer, il y a l'émissivité de l'objet. L'émissivité traduit la capacité d'un corps à rayonner de l'énergie en fonction de sa température.  $\epsilon$  est le rapport entre l'énergie rayonnée par un corps et celle que rayonnerait un corps noir soumis à la même température. Comme il est impossible de déterminer l'émissivité d'un objet sans suivre un protocole expérimental, le capteur est calibré pour une valeur de  $\epsilon_2$  fixe<sup>14</sup>. Cependant,

13. <http://www.melexis.com/mlx90614>. Pour le reste du paragraphe, on prendra toujours ce capteur en exemple.

14. Pour le MLX90614,  $\epsilon_2$  est égal à 1

l'énergie venant d'un corps est soit émise, réfléchi ou transmise (à travers le corps), et les coefficients correspondants pour une longueur d'onde donnée suivent l'équation 2.2.

$$\epsilon_\lambda + r_\lambda + t_\lambda = 1 \quad (2.2)$$

$\epsilon_\lambda$  : Coefficient d'émission du corps, à la longueur d'onde donnée

$r_\lambda$  : Coefficient de réflexion du corps, à la longueur d'onde donnée

$t_\lambda$  : Coefficient de transmission du corps, à la longueur d'onde donnée

La transmission n'intervient que pour des corps transparents (verre, plastique, etc.). Dans une première approximation, elle peut être négligée dans le contexte du projet InOvUS. En revanche, dans le cadre d'une mesure de température, la réflexion pose problème si elle est grande (l'aluminium, par exemple, a un coefficient de réflexion de 0.8). En effet, le capteur n'a aucun moyen de différencier les rayons émis des rayons réfléchis. Or, les rayons réfléchis n'apportent aucune information sur la température. C'est une source potentielle d'erreur.

L'autre paramètre à prendre en compte est le champ de vision. La sensibilité du capteur décroît selon l'angle d'orientation de l'objet par rapport au capteur, mais chaque corps dans le champ de vision sera pris en compte dans la mesure. La figure 2.3 illustre ce paramètre et ses implications.

Si le développement d'un algorithme de détection de présence peut être compliqué, l'utilisation même d'un capteur infra-rouge est simple : il suffit de le brancher, de communiquer avec et de récupérer l'image ou la température. En effet, la plupart des constructeurs intègrent toute l'électronique de traitement, de sorte que l'information soit accessible facilement. Le prix varie selon les caractéristiques. Un capteur de température premier prix, avec un champ de vision de 90°, vaut 20\$. Pour un capteur avec un champ de vision de 5°, il faut compter 75\$. De plus, cette technologie donne des capteurs sans-contact, ce qui facilite leur intégration. Cette technologie semble être un choix pertinent dans le contexte du projet InOvUS.

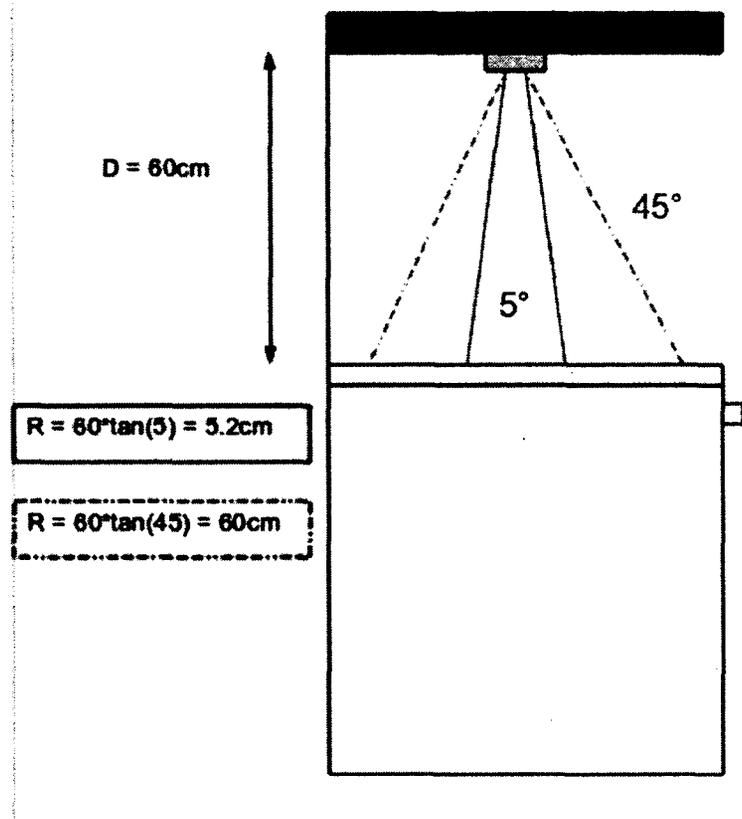


Figure 2.3 *Illustration du champ de vision d'un capteur infra-rouge : plus il est réduit, plus la zone englobée par le capteur est petite. R est le rayon du cercle correspondant au champ de vision.*

### 2.3.5 Capteur de gaz de type "Non-Dispersive Infra-Red" (NDIR))

Ce type de capteur discrimine les gaz selon leur spectre d'absorption infra-rouge. En effet, chaque molécule simple possède un comportement particulier en présence d'un rayon infra-rouge : la discrimination est possible. Pour cela, le capteur possède une chambre où le gaz est "aspiré". Un rayon infra-rouge, filtré au préalable à la longueur d'onde d'absorption du gaz, est envoyé dans la chambre. Un détecteur est placé à l'autre bout du capteur, pour mesurer si le rayon infra-rouge filtré a été absorbé, et de combien. Il ressort cette information sous forme d'une tension électrique, proportionnelle à la quantité de gaz présent dans la chambre. Cette technique est très efficace pour mesurer des quantités de gaz simple, car les spectres d'absorption sont connus et spécifiques à chaque molécule (discrimination possible). Néanmoins, plus la molécule se complexifie, plus le spectre d'absorption est complexe. Donc la discrimination devient plus compliquée, car la bande infra-rouge à tester correspondra sans doute à une bande d'absorption d'un autre gaz. De plus, le prix des capteurs est (environ 200\$). Cette technologie ne semble pas adaptée aux besoins du projet InOvUS.

### 2.3.6 Capteur de gaz de type "métal-oxyde-semiconducteur"

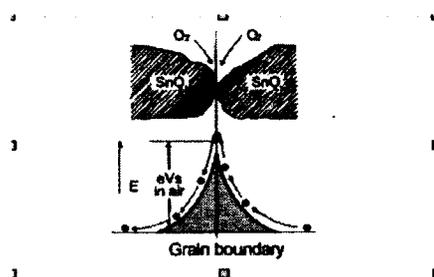
L'élément sensible de ces capteurs est un matériau semi-conducteur : matériau qui a les caractéristiques électriques d'un isolant, mais pour lequel la probabilité qu'un électron puisse contribuer à un courant électrique, quoique faible, est suffisamment importante. Ils doivent être installés à distance de l'environnement à surveiller, ce qui les rend adaptés pour une intégration facile.

Quand le matériau est chauffé (400°C environ) et en présence d'air, il absorbe un électron de l'oxygène (oxydation) : une barrière électrique se forme à la surface du semi-conducteur, comme le montre la figure 2.4(a). En présence du gaz voulu, le matériau perd des électrons (réduction) : la barrière de potentiel diminue. C'est donc la résistance formée qui est proportionnelle à la quantité de gaz. Plus il y a de gaz, plus la résistance diminue, comme le montre la figure 2.4(b). Le matériau semi-conducteur est choisi pour être le plus sélectif possible. C'est pourquoi ce genre de capteur a une sensibilité faible aux gaz parasites.

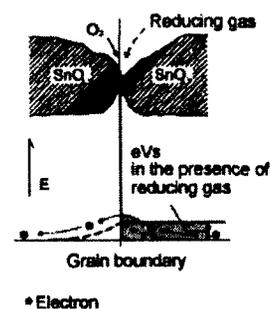
La courbe de  $R_S$  dans un repère log-log est une droite, de pente  $\alpha$ . Le constructeur ne peut garantir une valeur constante pour chaque capteur construit. Elle doit être trouvée par l'étalonnage pour un capteur et un gaz donné. De plus, la résistance varie selon des réactions chimiques, et les conditions ambiantes influent sur le rendement de ces réactions. Là aussi, un filtre contre l'humidité est intégré à la plupart des capteurs. Cependant, pour

une même valeur de concentration de gaz, la résistance ne sera pas la même selon la température. Encore une fois, le constructeur ne peut garantir une réponse standard pour chaque capteur. C'est à l'utilisateur de caractériser l'influence de la température, pour un gaz donné.

L'utilisation d'un tel capteur est simple. Il faut seulement lui amener l'énergie électrique et récupérer le signal de sortie. Cependant, la calibration peut s'avérer ardue quant à l'obtention d'une source de gaz et d'un environnement contrôlés. Mais ils restent accessibles au niveau du prix (entre 20\$ et 40\$), et ont un temps de réponse et de récupération moyen (entre 15 et 25 secondes). De plus, cette technologie donne des capteurs sans-contact, ce qui facilite leur intégration. Cette technologie semble être un choix pertinent dans le contexte du projet InOvUS.



(a) Principe de fonctionnement d'un capteur semi-conducteur [9]



(b) Réduction de la barrière de potentiel en présence du gaz voulu [9]

Figure 2.4 Schéma de fonctionnement d'un capteur semi-conducteur

### 2.3.7 Capteur d'humidité de type "résistif"

L'air ambiant possède une certaine quantité en vapeur d'eau. Cette teneur est appelée humidité absolue. Elle est exprimée en g/kg, et se calcule comme le rapport entre la masse de vapeur d'eau et la masse d'air. La mesure d'humidité ne comprend que les molécules d'eau en phase gazeuse. Mais cette mesure, prise telle qu'elle n'apporte que peu d'informations sur l'état courant de l'air ambiant. En effet, selon la température, une valeur donnée d'humidité absolue peut indiquer un air très sec ou un air très chargé. Ce comportement introduit la notion de saturation. À l'air ambiant à une température donnée, correspond une quantité de vapeur maximum. Passé ce seuil, la vapeur d'eau se condense. Ce seuil est la pression de vapeur saturante, et dépend entièrement de la température de l'air. Donc, un meilleur indicateur de l'état de l'air est la valeur d'humidité absolue ramenée à la valeur seuil. C'est l'humidité absolue, exprimée en pourcentage. Cette mesure est très

utilisée, en météorologie par exemple, comme indicateur du risque de pluie : plus l'humidité relative approche 100%, plus on s'approche de la pression de vapeur saturante, et plus les chances de condensation sont grandes.

Les hygromètres résistifs utilisent un matériau sensible à l'humidité relative, placé entre 2 électrodes, pour mesurer ce taux. Son impédance varie en fonction de l'humidité relative de l'environnement. Un hygromètre peut donc s'installer à distance de la zone à surveiller. Avec un circuit en aval, les variations d'impédance se transforment en variations de tension. Généralement, le fabricant calibre le capteur pour que la tension de sortie soit proportionnelle à l'humidité relative, ce qui en fait un capteur très simple à utiliser. Cette technologie semble être un choix pertinent dans le contexte du projet InOvUS.

## 2.4 Perspectives

Cette revue de littérature a montré le besoin d'un système tel qu'imaginé par le projet InOvUS. En effet, il a été montré le manque en ce qui concerne la sécurité dans la cuisine, et autour de la cuisinière en particulier. Les constructeurs électroménagers n'intègrent guère de fonctionnalités de ce genre, à part peut-être le voyant lumineux permettant d'alerter que la plaque de cuisson est chaude. Pour sécuriser spécifiquement la cuisinière, il faut se tourner vers des produits qui ne surveillent qu'un paramètre à la fois (présence humaine autour du plan de travail, température des plaques), où c'est principalement le danger d'incendie qui est visé. La sécurité globale est améliorée, sans pour autant que chaque danger soit prévenu efficacement. Justement, un niveau de sécurisation plus élevée est l'utilisation des détecteurs de fumée, qui eux protègent contre les incendies (et parfois les intoxications au monoxyde de carbone) à l'échelle d'une pièce de la maison, comme la cuisine. Ces appareils sont limités par leur définition : ce sont des détecteurs. Leur objectif est la détection d'incendie la plus rapide possible, non la prévention qui permettrait d'empêcher que le feu parte. De plus, adresser le danger d'incendie à l'échelle d'une pièce signifie que la cuisinière n'est pas surveillée avec une attention plus particulière qu'une autre zone. Pour cela, il faut revenir auprès de la zone à surveiller. L'étude de produit tel que le StoveGuard ont justement mis en lumière comment s'intégrer à l'environnement. L'un des objectifs de cet appareil est le même que le projet InOvUS : intégration facile et discrète. Pour cela, le capteur utilisé est un infra-rouge passif. Il peut être placé à distance de la zone à surveiller, moyennant une orientation précise. Choisir des capteurs sans-contact est la base pour développer une solution intégrable facilement.

Cette étude a aussi dégagé des exemples de paramètres intéressants à surveiller pour bien surveiller l'environnement : quantité de fumée, concentration en gaz, température ambiante, température de l'ustensile, etc. La comparaison du matériel utilisé pour les différentes études a mis en lumière que les technologies de capteurs sont récurrentes. Par exemple, les capteurs de gaz de type électro-chimique ou métal-oxyde-semiconducteur se retrouvent très souvent. Cela a permis d'identifier des pistes de technologies de capteurs pour les choix futurs.

Enfin, la revue de littérature sur les projets de recherches sur la détection d'incendies montre que l'algorithme de prise de décision n'est pas la partie la plus importante, ni la plus difficile à mettre en place. En effet, chaque projet étudié est d'abord passé par une phase importante de tests en situation réelle, pour étudier l'évolution des données des capteurs au préalable. À partir de l'analyse faite sur ces tests préliminaires, la conception d'un algorithme peut devenir très simple. De manière générale, ces articles ont permis la mise en place d'une méthodologie de travail pour concevoir un système de sécurité :

**Analyse des phénomènes mis en jeu** Une bonne connaissance théorique des phénomènes mis en jeu dans l'environnement conduira à un choix de paramètres qu'il serait judicieux de surveiller (concentration en gaz, température des ustensiles, taux d'humidité, etc.). Ce choix conduira à son tour à l'utilisation des capteurs adéquats. Par ailleurs, cette analyse peut mener à une première évaluation des techniques algorithmiques possibles pour la prévention du danger en question.

**Tests des capteurs en situation réelle** Cette étape permettra d'acquérir des connaissances pratiques sur les phénomènes mis en jeu dans l'environnement.

**Développement d'une prise de décision** Grâce à l'analyse faite des données des capteurs en situation réelle, le développement d'un algorithme de décision adapté est possible.

Le projet InOvUS se propose d'adresser trois dangers : incendies, intoxications, brûlures. La méthodologie précédente a été choisie pour cibler chaque danger. Cependant, les études rencontrées dans la littérature concernaient seulement la protection contre les incendies. Elles donnent des pistes pour prévenir ce danger au niveau algorithmique, mais il reste les intoxications et les brûlures. C'est pourquoi l'analyse des phénomènes mis en jeu dans la cuisine est aussi précise que possible. Pour ces deux dangers, les connaissances théoriques des situations dangereuses ont été utilisées pour une première évaluation des besoins algorithmiques.

Cette méthodologie permettra de répondre à 2 des objectifs principaux du projet InOvUS (présentés en introduction 1.3) : **choix des informations à surveiller, prise de décision sur la dangerosité de la situation**. La suite du document suit la progression de la méthodologie de travail. Le chapitre 3 présente les analyses poussées de situations de cuisine. Le chapitre 4 présente le développement du prototype d'InOvUS, découpé en 3 étapes : développement de la chaîne d'acquisition liée aux capteurs (objectif d'**intégration dans l'environnement**), tests menés sur chaque capteurs en situation réelle, prévention des dangers grâce à l'ensemble des capteurs.

## CHAPITRE 3

# ANALYSE DES PHÉNOMÈNES MIS EN JEU LORS DE SITUATIONS DE CUISINE

Le chapitre précédent a montré, entre autres, que le choix de capteurs est important. Par contre, dans les études, il n'est décrit nulle part comment se fait ce choix. Ils sont annoncés sans justifications préalables. Les résultats expérimentaux de la littérature ont, par contre, toujours montré que les choix semblaient pertinents. À partir de connaissances sur les phénomènes à surveiller, les auteurs ont construit des systèmes de détections de dangers haut niveau. Dans le cadre du projet InOvUS, il a été décidé de suivre une méthodologie précise pour bien traiter chaque danger lié à l'utilisation de la cuisinière : intoxication, brûlures, incendies. Cette méthodologie a été introduite dans la revue de littérature (section 2.4). Ce chapitre présente le travail fait dans la première étape : l'analyse des situations de cuisine.

Pour chaque danger, dans un premier temps, des analyses en profondeur de cas d'utilisation ont été menées. Elles portaient notamment sur l'évolution des paramètres physiques de l'environnement (température ambiante ou taux d'humidité, mais aussi quantité de fumée, concentration d'un gaz donné, température d'un ustensile, température des aliments, etc.). La synthèse de ces analyses a mené à l'identification de paramètres qu'il serait pertinent de surveiller pour prévenir les dangers. Cette étude a aussi été utilisée pour une évaluation des techniques possibles pour la prévention des brûlures et des intoxications. Les techniques pour prévenir le risque d'incendies ont déjà été abordées dans la revue de littérature (section 2.2.2). Cette évaluation n'a pas pour but de statuer le choix de telle ou telle technique. Ce choix se fera en collaboration avec l'analyse des données des capteurs en situation de tests.

L'identification des paramètres à surveiller a mené à la recherche de capteurs qui pourraient convenir aux besoins. Il s'est avéré que les besoins étaient en majorité couverts par les technologies présentés dans la revue de littérature (section 2.3). Un résumé des capteurs choisis et de leurs fonctionnalités sera présenté, section 3.4.

L'ensemble de cette étude a permis d'engranger des connaissances précises sur les phénomènes physiques et chimiques mis en jeu lors des cuissons d'aliments. Elles vont être très utiles pour prévenir les dangers de manière efficace. Cette étude est aussi une base solide pour

justifier à priori les choix des capteurs. La section 3.1 présente l'étude faite pour les incendies. La section 3.2 présente l'étude faite pour les intoxications. La section 3.3 présente l'étude faite pour les brûlures. Enfin, la section 3.4 donne un résumé des capteurs choisis pour le projet InOvUS.

## 3.1 Incendies

### 3.1.1 Analyse de situations dangereuses

Les situations pouvant amener un incendie sont nombreuses, et faciles à provoquer. C'est principalement quand on oublie quelque chose sur le feu (chose fréquente) que le risque d'incendie apparaît. De plus, les détecteurs anti-incendie du commerce prouvent fréquemment qu'il n'est pas facile de prévenir efficacement un incendie, c'est-à-dire sans fausses alarmes. Pour extraire des paramètres pertinents, il a été choisi d'explicitier 3 situations potentiellement dangereuses.

#### L'huile sur le feu

Une huile, au même titre qu'une graisse, est une substance organique insoluble dans l'eau, constituée en majorité de tri-glycérides, 3 acides gras qui ont réagi avec une molécule de glycérol. La chaîne carbonée des acides gras peut être constituée d'atomes de carbone unis entre eux par une liaison (acide saturé), par une double liaison (acide mono-insaturé) ou par plusieurs doubles liaisons (acide polyinsaturé). Du point de vue de leur réactivité, les acides gras saturés sont considérés comme stables. En revanche, les acides gras insaturés sont réactifs, car ils peuvent, grâce à leur double liaison, entrer en réaction avec d'autres molécules. En raison de cette réactivité, les acides gras insaturés sont dits fragiles. Donc, plus une huile est insaturée, plus elle est sensible à la température (facteur de dégradation des acides gras). Le tableau 3.1 résume ces points ([32]).

Saturé	Mono-insaturé	Poly-insaturé
Exemple : huile de coco, palme	Exemple : huile d'arachide, olive, canola, colza	Exemple : huile de sésame, soja, tournesol
Bonne stabilité thermique	Supportent mal la chaleur	
Pauvre du point de vue nutritif	Apportent des acides gras essentiels	

Tableau 3.1 *Acides gras majoritaires dans la composition des huiles.*

Une huile qui chauffe trop commence à se transformer chimiquement. Les tri-glycérides se dégradent en libérant notamment les acides gras (nommés "free fatty acid"), comme le montre la figure 3.1. Si la température de l'huile ne diminue pas, les acides gras se dégradent à leur tour. Si la température augmente encore, elle peut se rapprocher du point de fumée de l'huile ("smoke point", entre 180°C et 240°C selon les huiles). C'est la température à laquelle les composants produits par les dégradations se volatilisent, produisant de la fumée (nommée COF pour "Cooking Oil Fumes"). Si la température excède de trop le point de fumée, l'huile peut arriver au point d'éclair ("flash point"), qui est la température minimale pour laquelle la dégradation rejette suffisamment de gaz inflammables pour que l'air ambiant s'enflamme au contact d'une source de feu. Encore au-dessus de ce point, on a le point de feu ("fire point"), qui est similaire au point d'éclair sauf que la combustion continue même si la source de feu est retirée. Enfin, il y a le dernier palier : l'"auto-ignition temperature" (350°C en moyenne), où l'huile s'enflamme sans source de feu au départ ([32, 37]).

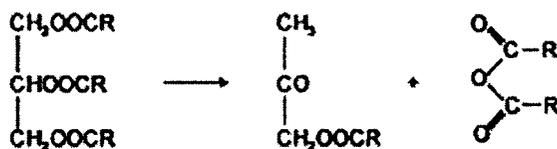


Figure 3.1 Exemple de dégradation d'une tri-glycérides sous l'effet de la chaleur : libération de glycérol et d'acides gras (notés R) [13].

Le point de fumée est donc le palier à ne pas trop dépasser, dans l'optique de contrôler l'huile. L'avantage, c'est que c'est un palier potentiellement détectable électroniquement. Par contre, pour une détection efficace, il faut trouver un gaz ou un élément chimique qui discrimine la fumée classique (cf. tous les détecteurs de fumée du commerce qui ne font pas bien ce travail, car le paramètre testé est trop général).

Pour cela, il faut connaître les éléments produits et rejetés quand une huile chauffe. Beaucoup d'études se sont faites sur ce point, car il s'avère que certains de ces éléments sont toxiques à l'inhalation ([12, 18, 23, 38]). Ces études montrent, tout d'abord, que les concentrations en éléments dans les COF dépendent des aliments et du style de cuisine. Cependant, il y a des composants récurrents, comme le montre le tableau 3.2. De plus, Liu ([24]) a réalisé une étude sur les moyens d'éteindre un incendie provoqué par de l'huile. Dans le cadre de cette étude, la dynamique du processus de chauffage de l'huile a été analysée : température (de l'huile et du récipient), produits chimiques formés dans l'huile (ce qui donne une idée sur ce qui est rejeté en fumée). Tout ceci est résumé dans le tableau 3.2.

	Température	Produits formés dans l'huile suite aux réactions dues à la température
Huile qui chauffe (dynamique)	avant 300°C (point de fumée dépassé depuis longtemps)	pas de données
	300°C (près du point de feu)	aldéhydes, alcools, acides, cétones en quantité négligeable
	350°C (auto-ignition température)	aldéhydes, alcools, acides, cétones en quantité significative

Tableau 3.2 Tableau résumant la composition des fumées de cuisine et du comportement de l'huile quand elle chauffe [12, 18, 23, 38].

La conclusion de ce paragraphe est que la fumée contient des familles d'éléments chimiques qui sont potentiellement de bons marqueurs. Cependant, cette affirmation repose sur 2 suppositions : il existe des capteurs sur le marché pour de tels éléments, et la quantité de particules augmente en même temps que la température de chauffage de l'huile. On remarque aussi que la température de l'huile est un paramètre intéressant, mais la difficulté est de réussir à acquérir cette information avec un capteur.

### Cuisson d'une viande

La viande est majoritairement composée d'eau, comme le montre le tableau 3.3 ([13]). Cependant, on retrouve aussi des matières grasses. La chaleur va dégrader les matières, de la même manière que pour l'huile. Il est donc probable de retrouver des composants chimiques connus dans la fumée. Rogge ([31]) a analysé les processus mis en jeu lors de la cuisson d'une viande de boeuf et la composition chimique de la fumée rejetée. Le résumé tableau 3.4 résume ces analyses.

Rogge ([31]) a aussi réalisé une comparaison entre les composants rejetés pour différent style de viande (steak haché normal et extra-maigre) et différents styles de cuisson (à la poêle et au barbecue). Les différences se situent au niveau des concentrations : une cuisson au barbecue rejette plus de composants dans l'air, tandis que la cuisson d'un steak extra-fin en rejette moins (ceci est dû au taux de graisse : 21% pour le normal, 10% pour l'extra-fin).

Composition (%)			
Espèce	Eau	Protéine	Lipide
Boeuf	70-73	20-22	4-8
Porc	68-70	19-20	9-11
Poulet	73.7	20-23	4.7
Agneau	73	20	5-6
Saumon	64	20-22	13-15

Tableau 3.3 *Tableau montrant la composition de certaines viande.*

La conclusion de ce paragraphe est la même que celle du paragraphe précédent. On retrouve des éléments chimiques déjà rencontrés dans la fumée (alcools, acides, cétones, hydrocarbures, etc.). Ces éléments ne seront pas de bons marqueurs si la preuve n'est pas faite que leur concentration évolue avec la température de cuisson.

### Cuisson d'un plat quelconque

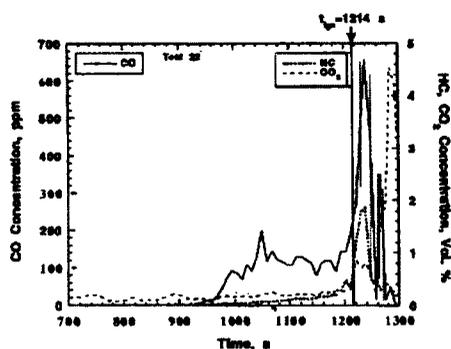
Là encore, des études ont été faites concernant la composition chimique des fumées de cuisine en général ([34, 35, 41]). Il s'avère que les mêmes familles de composants chimiques vues précédemment reviennent. C'est intéressant, car, dans ces études, ce sont les fumées produites par n'importe quel plat qui ont été étudiées (viande, légumes, poisson, etc.). De plus, ces 3 études portent sur 3 régions du monde différentes (Inde, Chine et Europe), donc 3 styles de cuisine différents. Par conséquent, ces composants chimiques sont potentiellement pertinents pour un large éventail d'aliments et de style de cuisine. C'est intéressant dans le cadre d'une solution de sécurité.

Une étude conjointe du NIST et du CPSC ([19, 20, 22]) confirme ces hypothèses par l'expérience. Le but de leurs travaux était de trouver les conditions de départ de feu lors de l'utilisation de la cuisinière. Pour ce faire, ils ont testé différents plats (poisson, viande, pommes frites dans l'huile, etc.), sur différentes cuisinières (à gaz, électrique, avec ou sans hotte), et dans différentes situations (cuisson normale jusqu'à embrasement, cuisson normale puis augmentation soudaine de la température de cuisson jusqu'à embrasement). Les objectifs étaient multiples : montrer qu'une détection de départ de feu était possible en surveillant des gaz (avec des analyseurs ou sondes), prouver qu'on pouvait utiliser des capteurs du commerce, prouver que les performances sont meilleures qu'avec des détecteurs incendie du commerce. Ce qui est intéressant ici, c'est que le premier objectif de l'étude a été atteint : il existe une corrélation entre départ de feu et concentration en gaz (voir figure 3.2). Les gaz analysés étaient les hydrocarbures, les VOC, les alcools de cuisine,

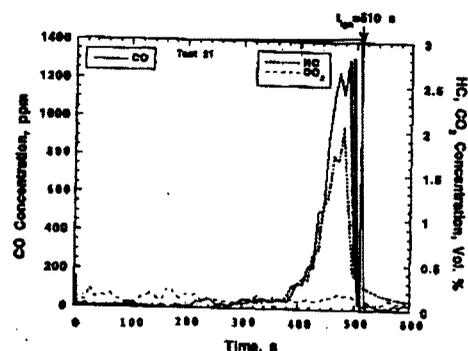
	Température de la viande	Réactions chimiques dans le morceau de viande
Viande qui chauffe (dynamique)	40-50°C	la myosine des tissus musculaires perd sa solubilité (dénaturation et détérioration du système contractile)
	65-75°C	la viande se tasse le long des fibres musculaires (à cause de la perte d'eau et de la dénaturation des protéines assurant la liaison)
	75°C et plus	l'eau quitte le coeur du morceau de viande, passe dans la zone intermédiaire (surface de la viande à 100°C) et s'évapore. Formation de la fumée, qui transporte les particules libres formées par la cuisson (détérioration des acides gras).
	75°C et plus	la graisse non cuite peut passer dans 2 états : quitter la viande à l'état liquide, ou se dégrader et partir dans la fumée.
Composition des fumées rejetées	PAH. aldéhydes, alcools, acides, cétones (font partie de la famille des VOC). hydrocarbures. esters.	

Tableau 3.4 *Tableau résumant la composition de la fumée lors de la cuisson d'une viande, et du comportement dynamique de celle-ci [31].*

le monoxyde de carbone, le dioxyde de carbone et la température (de l'aliment, de la casserole/poêle, etc.).



(a) Concentration en gaz pour la préparation de pommes frites (cuisson normale, puis augmentation soudaine de la température de cuisson)



(b) Concentration en gaz pour la préparation d'un poisson (cuisson normale)

Figure 3.2 Évolution de la concentration en gaz pour différents plats, pour une cuisinière électrique [21]

## Conclusion

L'étude du NIST/CPSC confirme les idées présentées pour les 2 premiers cas, à savoir qu'il est possible de détecter un incendie en surveillant des gaz. Mais en plus, elle valide l'approche dans le contexte général du projet InOvUS : il serait possible de détecter les conditions de départ de feu, et pas seulement les incendies quand ils sont sur le point de se déclarer. C'est intéressant, puisque le but du projet serait de faire de la prévention. Les paramètres suivants seraient donc pertinents à surveiller :

- Monoxyde de carbone
- Dioxyde de carbone
- VOC (aldéhydes, alcools, acides, etc.)
- Hydrocarbures (en général)
- Gaz inflammable, pour prévenir le risque d'explosion (LPG)
- Température du récipient

Au regard de cette conclusion, certaines technologies de capteur étudiées au chapitre précédent apparaissent adaptées. Les capteurs de type métal-oxyde-semiconducteur et électro-chimiques permettraient de surveiller les gaz. Un capteur de type infra-rouge pourrait surveiller la température. L'avantage principal pour le projet InOvUS est que cette surveillance se ferait à distance, d'où une gêne amoindrie pour l'utilisateur.

## 3.2 Intoxication

La sous-section 3.2.1 traite du choix de paramètres pertinent à surveiller dans le cadre de la protection contre les intoxications. La sous-section 3.2.2 évalue la faisabilité de la prévention de ce danger.

### 3.2.1 Analyse de situations dangereuses

Pour une cuisinière électrique, les sources d'intoxication sont limitées : il n'y a que la cuisson d'un plat qui peut produire des éléments toxiques. La cuisson est l'altération des aliments, au sens chimique du terme, sous l'effet de la chaleur [36]. Dans ce cadre, la combustion peut intervenir. Celle-ci peut être complète (production de dioxyde de carbone), ou incomplète (production de monoxyde de carbone). Or, ces éléments seront contrôlés dans le cadre de la prévention d'un incendie (présentée en section 3.1). En première approximation, il n'y a donc pas d'autres paramètres à surveiller.

Au regard de cette conclusion, certaines technologies de capteur étudiées au chapitre précédent apparaissent adaptées. Les capteurs de type métal-oxyde-semiconducteur et électrochimiques permettraient de surveiller les gaz. L'avantage principal pour le projet InOvUS est que cette surveillance se ferait à distance, d'où une gêne amoindrie pour l'utilisateur.

### 3.2.2 Évaluation de méthodes de prévention du danger d'intoxication

Pour prévenir ce danger, l'approche intuitive serait de connaître des valeurs seuils, pour lesquelles les gaz concernés sont dangereux pour la santé. D'où l'utilité d'un document comme celui-ci : [28]. C'est une étude faite par le NIOSH, concernant un large éventail de gaz : concentration en gaz immédiatement dangereuse, concentration en gaz limite pour une exposition continue pendant une journée de travail de 8 ou 10 h. Par exemple, pour le monoxyde de carbone, une concentration de 1200 ppm est immédiatement dangereuse, et il ne faut pas dépasser 50 ppm pour une journée de travail de 8h. Pour compléter, ce rapport ([4]) a été rédigé par l'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire, là aussi sur les concentrations de monoxyde de carbone à ne pas dépasser en milieu professionnel. Ce document rajoute que pour une exposition à court terme (15 minutes et moins), il ne faut pas dépasser les 200 ppm. Ces 2 rapports donnent des valeurs seuils pour toutes les durées d'exposition. Concernant le dioxyde de carbone, qui est un gaz moins critique au niveau santé, le rapport du NIOSH indique qu'une concentration de

40000 ppm est immédiatement dangereuse, et qu'il ne faut pas dépasser 5000ppm dans une journée de travail de 8h. Ces données permettront de programmer un algorithme très simple à base de comparaison avec des valeurs seuils. Dans cette optique, certaines technologies de capteur étudiées au chapitre précédent apparaissent adaptées. Les capteurs de type métal-oxyde-semiconducteur et électro-chimiques permettraient de surveiller les gaz. L'avantage principal pour le projet InOvUS est que cette surveillance se ferait à distance, d'où une gêne amoindrie pour l'utilisateur.

## 3.3 Brûlures

La sous-section 3.3.1 traite du choix de paramètres pertinent à surveiller dans le cadre de la protection des brûlures. La sous-section 3.3.2 évalue la faisabilité de la prévention de ce danger.

### 3.3.1 Les brûlures au niveau physiologique

La peau est constituée de 2 couches : épiderme, derme. Une brûlure est la destruction des cellules de la peau, et peut être causée de différentes manières (haute température, flamme, gelure, radiation, produit chimique). Dans le contexte du projet InOvUS, les brûlures en question sont celles dues au contact avec un objet ou liquide chaud. Dans ce cas, la gravité de la brûlure est dépendante de la température. À partir d'environ 45°C, les cellules sont susceptibles de mourir. Mais la gravité est aussi dépendante du temps d'exposition à cette température. Cette relation a été montrée ([27]), et est illustrée par la figure 3.3. Si la température augmente, il faut moins de temps pour provoquer une brûlure d'un type donné. Il faut noter que c'est bien la température de la surface de la peau (première couche de l'épiderme), et non celle de la peau elle-même, qui est mentionnée. Avec le temps, la chaleur se diffuse à la couche suivante. Dans ce cas, plus la couche du dessous absorbe de la chaleur, plus sa température augmente. Une fois les 45°C atteints, les cellules se détruisent. Et ainsi de suite de couche en couche. Si l'épiderme est complètement détruit, on parle de brûlures au deuxième degré. Si le derme est complètement détruit, on parle de brûlures au troisième degré.

*Henriques* ([17]) donne la théorie sur la conduction de la chaleur à travers la peau. Quand deux objets de températures différentes entrent en contact, il y a échange de chaleur. L'objet chaud donne de la chaleur à l'objet froid. La température des deux objets atteint un point d'équilibre au bout d'un certain temps. Ce laps de temps dépend de deux paramètres :

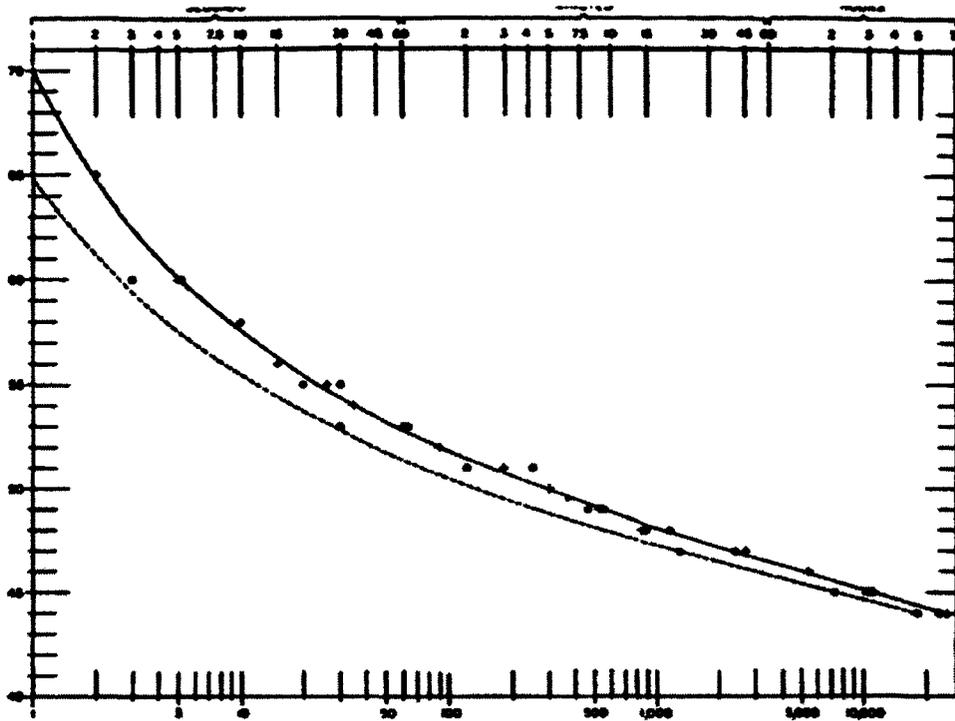


Figure 3.3 *Illustration de la dépendance temps-température de la peau dans la gravité des brûlures. En abscisses, le temps en secondes sur une échelle logarithmique. En ordonnées, la température en degré Celsius de la surface de la peau d'un cochon, proche de la peau humaine. Les données de cette courbe sont donc exploitables dans le cas de la peau humaine. La courbe en pointillé représente le seuil de brûlures du deuxième degré. La courbe pleine est le seuil de brûlures du troisième degré [27].*

**Chaleur massique de la peau** Quantité de chaleur nécessaire pour monter la température d'un gramme de peau d'un degré. Unité SI :  $[\text{Cal.g}^{-1}.\text{K}^{-1}]$ .

**Conductivité thermique de l'objet en contact** En contact avec un corps plus froid, un objet va transférer de la chaleur, sous l'action d'un gradient de température. Cette quantité de chaleur transférée dépend aussi de surface de contact et du temps. Unité SI :  $[\text{W.m}^{-1}\text{K}^{-1}]$ .

Pour le cas de la cuisinière, voici des exemples de situations qui peuvent amener à des brûlures :

- Plaque chaude et sans ustensiles déposés dessus (risque de contacts avec la main)
- Ustensile vide laissé sur une plaque chaude
- Casserole ou poêle contenant un plat sur le feu (risque d'éclaboussure)

Intuitivement, il faudrait mesurer la température des objets sur la plaque. La figure 3.3 serait utilisable pour inférer le risque de brûlures. Cette affirmation n'est valable que si la

température de la surface de la peau est comparable à celle de l'objet avec lequel elle rentre en contact. Dans le protocole expérimental de *Moritz* ([27]), la température de la surface de la peau était maintenue par conduction grâce à de l'eau chaude. Cela veut dire que la température d'un objet chaud est la même que la température de la surface de la peau, et que celle-ci s'établit sans délai. Concernant le risque d'éclaboussure, la gravité dépend de la température du liquide. Sans parler du fait qu'il faut pouvoir détecter qu'un liquide est présent dans un contenant sur la cuisinière, il faut pouvoir déduire sa température. Le raisonnement qui suit est basée sur l'équation 3.1. Elle régit les échanges de chaleur entre un corps chaud (une casserole, par exemple), et un corps plus froid possédant une certaine épaisseur (une paume de main, par exemple).

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = -k \times A \times \frac{\Delta T}{x} \quad (3.1)$$

$\frac{\Delta Q}{\Delta t}$  : Quantité de chaleur transférée par unité de temps. Unité SI : [W.s<sup>-1</sup>]

$k$  : Conductivité thermique de l'objet en contact. Unité SI : [W.m<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>]

$A$  : Surface des 2 objets en contact. Unité SI : [m<sup>2</sup>]

$\Delta T$  : Différence de température entre les 2 corps. Unité SI : [K]

$x$  : Distance entre la surface du corps chaud et le point du corps froid à chauffer.

Pour une paume de main, on peut envisager des échanges de chaleur à la surface de la peau (brûlures du premier degré), ou dans le derme (brûlures du deuxième ou troisième degré). Unité SI : [m]

Selon l'équation 3.1, il ne peut y avoir d'échange de chaleur entre deux corps que si leurs températures sont différentes. Or, il faut de la chaleur pour augmenter la température d'un corps. Donc, dans le cadre de la cuisson d'un aliment, sa température maximum est la température de son contenant. Donc, la température du contenant serait un bon indicateur de la température du contenu.

Donc, les paramètres pertinents sont :

- Température d'un objet
- Température d'une plaque
- Présence d'un objet sur une plaque (pour évaluer le risque d'éclaboussures)

Au regard de cette conclusion, certaines technologies de capteur étudiées au chapitre précédent apparaissent adaptées. Un capteur de type infra-rouge pourrait surveiller la tempéra-

ture. L'avantage principal pour le projet InOvUS est que cette surveillance se ferait à distance, d'où une gêne amoindrie pour l'utilisateur. La détection d'objets n'a, quant à elle, pas été abordée dans la littérature.

### 3.3.2 Évaluation de méthodes de prévention du danger de brûlures

Pour prévenir les brûlures, les cuisinières électriques du commerce intègrent souvent un voyant qui s'allume quand une des plaques est chaude. Ce genre de système est adapté quand il y a un oubli. Dans ce cas, une personne est plus sensible aux messages lumineux. Par contre, pendant l'utilisation, l'utilisateur a plus tendance à être concentré sur sa tâche et ne plus être réceptif. De plus, ce système ne s'adapte pas au degré de dangerosité. Le même message est diffusé quelle que soit la situation. À part ça, il n'a pas été rencontré, dans la littérature, de solution avancée de prévention contre les brûlures. Donc, pour concevoir un tel système, il faut partir des connaissances de base sur les brûlures liées à l'utilisation de la cuisinière, pour ensuite établir des règles de décision. Dans le cadre de la cuisine, il existe deux types de brûlure : par contact direct entre la peau et un ustensile chaud, ou par contact d'un liquide chaud sur la peau (éclaboussure ou déversement, par exemple).

Une brûlure par contact demande une température élevée pour être grave. En effet, quand la main se pose par mégarde sur un objet chaud, le réflexe immédiat est de la retirer. Tout au plus, la main est restée en contact quelques dixièmes de seconde. En revanche, une brûlure par éclaboussure est potentiellement plus grave. Si la main est éclaboussée par de l'eau à 70°C, il faut aller jusqu'au robinet et s'asperger d'eau froide pour ralentir la progression de la brûlure. La main aura été en contact avec de l'eau à 70°C pendant 1 ou 2 secondes. La température de la peau a le temps d'augmenter, et la brûlure sera beaucoup plus grave. Selon la figure 3.3, il faut que la peau soit en contact pendant seulement 1 seconde avec un objet à 70°C pour provoquer une brûlure au troisième degré. Ces données théoriques pourront être utilisées pour prévenir tout type de brûlures, grâce à des seuils sur un capteur de température. Dans cette optique, certaines technologies de capteur étudiées au chapitre précédent apparaissent adaptées. Les capteurs de type infra-rouge permettraient de surveiller la température des ustensiles. L'avantage principal pour le projet InOvUS est que cette surveillance se ferait à distance, d'où une gêne amoindrie pour l'utilisateur.

### 3.4 Résumé

Les sections précédentes ont donné les paramètres intéressants à surveiller, à savoir : température (ambiante, objet), humidité, gaz. Cela coïncide avec les études et projets rencontrés dans la littérature, mais aucune justifications n'étaient apportées. Le choix des capteurs est ici supporté par des analyses approfondies. De plus, l'analyse faite en section 2.3 relative aux technologies de capteur existantes a été très utile pour décider quelle technologie utiliser. Les tableaux 3.5 et 3.6 résume les capteurs choisis pour le projet InOvUS. Il s'avère que tous les capteurs choisis sont disponibles pour environ 20\$.

Capteur	Information surveillée	Technologie	Unité	Tension(s) de fonctionnement	Puissance consommée
Melexis MLX90614BAA	Température ambiante et température d'un objet	Thermopile et Infra-rouge	°C	Vcc = 3.3V	3mW
SRR02	Présence d'un objet	Ultra-son	cm	Vcc = 5V	Non-communicuée
Honeywell HIH3503	Humidité		%Rh	Vcc = 3.3V	1.65mW
Figaro TGS5042	CO	Électro-chimique	ppm		
Figaro TGS2620	alcools	Métal-oxyde semiconducteur	ppm	Vh = Vref = 5V	210mW
E2V MICS5521	VOC HC CO	Métal-oxyde semiconducteur	ppm	Vh = Vref = 3.3V	80mW

Tableau 3.5 Tableau résumant les choix de capteurs du projet InOvUS (partie 1).

Capteur	Technique d'acquisition des données	Temps de réponse	Temps de chauffe (si nécessaire)	Documentation
Melexis MLX90614Bx1	SMBus	100ms		Conséquente (Datasheet + Application Note)
SRF02	I2C	72ms avec une horloge à 40Khz (70ms pour attendre l'aller et retour de l'onde sonore, 2ms pour la trame I2C)		Basique (Datasheet)
Honeywell HIHT-5030	Numérisation de la tension en sortie du capteur	5s		Conséquente (Datasheet + Application note)
Figaro TGS5042	Numérisation de la tension en sortie du capteur	60s		Conséquente (Datasheet + Application note)
Figaro TGS2620	Numérisation de la tension en sortie du capteur	20s environ	7 jours	Conséquente (Datasheet + Application note)
E2V MICS5521	Numérisation de la tension en sortie du capteur	10s	Non-communicuée	Conséquence (Datasheet + Application note)

Tableau 3.6 *Tableau résumant les choix de capteurs du projet InOvUS (partie 2).*

Dans l'optique d'intégrer la solution dans l'environnement de la cuisinière, les capteurs sont non intrusifs. Les technologies choisies (électro-chimique, métal-oxyde-semiconducteur, infra-rouge, ultra-son et hygromètre résistif) donnent des composants sans contacts, installables à distance de la zone à surveiller.

De plus, la simplicité d'utilisation est de mise. Le signal des 4 capteurs analogiques est facile d'accès. Pour le cas des capteurs résistifs et métal-oxyde-semi-conducteur, il suffit de traduire la variation de résistance en tension. Pour le cas du capteur électro-chimique, il faut transformer un courant électrique en tension. Tout ceci se fait assez facilement en électronique. À noter que pour se protéger du bruit, un couple de filtres a été mis en place pour chacun de ces capteurs : 1 filtre antirepliment, 1 filtre moyenneur mis en oeuvre sur l'ordinateur en Matlab. En ce qui concerne les deux capteurs qui communiquent par un

protocole de communication I2C, la difficulté relative résidera dans le développement d'un pilote permettant de dialoguer avec eux.

Pour le capteur de température MLX90614, deux caractéristiques spécifiques sont intéressantes à noter. C'est le champ de vision et l'émissivité pour laquelle le capteur est calibré (décrits dans la revue de littérature 2.3.4). Ces paramètres valent respectivement  $90^\circ$  et 1. Cela veut dire, en pratique, que si le capteur est placé à 60 cm au-dessus de la plaque chauffante, il sera sensible au rayonnement IR de cette plaque sur un diamètre de 60cm. De plus, si la plaque en question n'a pas une émissivité égale à 1, la valeur renvoyée sera plus basse que la réalité. L'émissivité est, quant à elle, un paramètre modifiable par l'utilisateur sans nécessiter une nouvelle calibration.

Enfin, les quatre capteurs analogiques doivent être étalonnés. Pour le capteur de monoxyde de carbone et d'humidité, le fabricant donnait toutes les données pour calibrer le matériel. Donc, le pourcentage d'humidité relative et la concentration en monoxyde de carbone sont accessibles. Pour les deux autres capteurs de gaz, la problématique est différente. En effet, ils sont sensibles à un large éventail de gaz, gaz qui sont tous susceptibles de se rencontrer dans les situations de cuisine. Le problème réside dans le fait que la réponse du capteur varie selon le gaz. Concrètement, cela veut dire que la résistance sensible  $R_s$  peut être la même en présence de 3000 ppm de méthane qu'en présence de 300 ppm d'éthanol. Il semble donc inutile de caractériser les capteurs pour un gaz en particulier. Le même constat est fait pour la compensation en température et en humidité. Le constructeur ne précise pas si la dérive est la même façon quel que soit le gaz en présence. Quand bien même ce serait le cas, le protocole à mettre en oeuvre est complexe (source de gaz contrôlée, environnement contrôlé en température et en humidité), au regard de l'objectifs de ces travaux de recherche. Au regard de la complexité du protocole à mettre en oeuvre et de l'objectif des présents travaux, les capteurs de gaz n'ont pas été étalonnés. Donc, pour les capteurs d'alcools (TGS2620) et d'hydrocarbures (MICS5521), il a été choisi de travailler directement avec la tension de sortie du capteur plutôt que de travailler sur des concentrations relatives (exprimées en PPM) pour lesquelles leur étalonnage peut varier selon la composition du gaz. En première approximation, la compensation en température et en humidité n'a pas été faite. Ce choix semble pertinent puisque, dans les études rencontrées dans la littérature, c'est seulement la concentration relative qui était utilisée avec ces capteurs. La preuve existe qu'il est possible de les utiliser tels quels.

Enfin, ce chapitre a aussi permis d'évaluer les algorithmes de prévention possibles. Les dangers d'intoxications et de brûlures semblent possibles d'adresser avec des valeurs seuils sur les capteurs. Quant aux incendies, c'est l'étude des solutions à l'état de recherche

de la revue de littérature (section 2.2.2) qui a donné des pistes : seuils sur les capteurs de gaz, algorithmes de détection d'anormalités. Le choix se fera au moment de l'analyse des données des capteurs en situation réelles, en fonction notamment de la nature des tests. Si des situations dangereuses sont réalisées, il y aura possibilité de trouver un seuil. Sinon, il faudra utiliser des techniques qui s'affranchissent des données sur des situations dangereuses. La réponse sera donnée au chapitre 4.2.

# CHAPITRE 4

## PRÉVENTION DES DANGERS GRÂCE À DES CAPTEURS

Le chapitre précédent a décrit le cheminement effectué afin de choisir les capteurs. Ces capteurs doivent être utilisés pour prévenir les dangers. Pour cela, il a fallu amener ces derniers au plus près de l'environnement à surveiller, puis leur donner l'intelligence pour prévenir les dangers. Ce chapitre présente le développement d'un prototype qui répond à ces 2 objectifs principaux du projet InOvUS (**intégration dans l'environnement** et **prise de décision sur la dangerosité de la situation**). La partie 4.1 présente le développement de la chaîne d'acquisition liée aux capteurs, et l'installation de ceux-ci dans la cuisinière. La partie 4.2 concerne les tests effectués sur chaque capteur. Enfin, la partie 4.3 présente le développement et les tests du système de prévention.

### 4.1 Développement de la chaîne d'acquisition

Cette section présente le développement de la chaîne d'acquisition. Ce travail doit permettre de répondre à l'un des objectifs principaux (**intégration dans l'environnement**). Dans la partie 4.1.1, l'intégration des capteurs dans l'espace de la cuisinière est présentée. La section 4.1.2 présentera le développement de la chaîne d'acquisition en elle-même.

#### 4.1.1 Intégration des capteurs dans l'environnement de la cuisinière

Le but de cette partie n'était pas que de déployer les capteurs là où il fallait. Il y avait la volonté de réaliser un prototype d'encapsulation, selon un cahier des charges :

- Possibilité de rajouter d'autres capteurs.
- Installation physique facile. Idéalement, ce serait juste un module qui regrouperait tous les capteurs, à fixer quelque part au dessus de la cuisinière.
- Minimiser la gêne pour l'utilisateur. Le ou les modules ne doivent pas interférer avec les mouvements et les habitudes de cuisine des personnes.

Le but était bien d'inscrire le prototype dans le contexte global du projet InOvUS, pas seulement dans le contexte immédiat de la validation de ce projet de recherche. Il devait

être réutilisable pour des travaux futurs. Néanmoins, il a fallu poser deux hypothèses de départ. Premièrement, l'utilisateur n'utilisera qu'un seul rond ou plaque de la cuisinière. De plus, l'utilisateur ne mettra pas en route la ventilation, ni n'allumera les lumières de la cuisinière. Les effets des vibrations, du déplacement d'air ou d'une lumière excessive sur les capteurs sont inconnus. Ces décisions ont été prises pour, dans un premier temps, simplifier le problème.

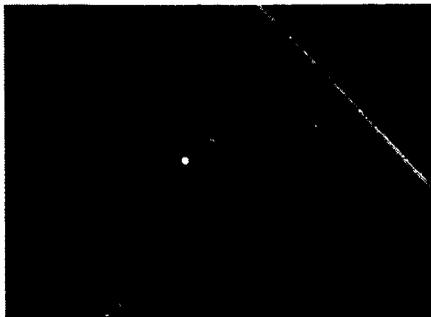
### **Déploiement des capteurs**

Pour déployer les capteurs sur la cuisinière, il faut prendre en compte ce à quoi ils sont sensibles : humidité, gaz, distance avec un objet, température d'un objet. Pour respecter le cahier des charges concernant la facilité d'installation, la première idée était de construire une carte électronique comportant des connecteurs femelles. Chaque capteur serait soudé sur un module indépendant, avec son schéma d'interfaçage et un connecteur mâle. De cette façon, les capteurs peuvent être facilement intégrés ou retirés de l'environnement. Dans cette version, tous les capteurs seraient branchés sur la même carte. De manière intuitive, elle serait installée au niveau de la hotte, c'est-à-dire à la verticale de la cuisinière. C'est la seule position possible pour les capteurs d'humidité et de gaz, car les vapeurs d'échappent toujours vers le haut. Concernant les capteurs de température et de distance, l'hypothèse était qu'il suffirait de régler l'angle d'inclinaison de ceux-ci pour qu'ils soient orientés correctement vers l'objet. La photo 4.1(a) montre l'allure de la carte, que l'on nommera "carte capteurs" dans le reste du document.

Cependant, certains capteurs ne pouvaient rester dans la hotte, car les informations renvoyées n'étaient pas exploitables. Il a fallu déporter le capteur de distance et celui de température. La position précise de ces deux capteurs sera abordée dans les tests unitaires (respectivement en 4.2.2 et 4.2.4). La photo 4.1(b) montre la carte dans la hotte de la cuisinière. Il faut noter la facilité avec laquelle elle a été intégrée. La carte est simplement collée sur un rectangle de carton, qui est posé sur les fixations de la hotte.

### **Apport d'énergie électrique aux capteurs**

Comme exposé dans le tableau 3.5, les capteurs nécessitent différentes tensions d'alimentation, ainsi qu'une certaine quantité de courant. Une carte a été réalisée dans ce but, que l'on nommera "carte alimentation" dans le reste du document. La puissance élec-



(a) La "carte capteurs", avec les 6 modules connectés. Le sac plastique a été ajouté pour protéger les pistes de la carte de la condensation.



(b) La "carte capteur" et ses modules installés dans la hotte et sur le tableau de bord.

Figure 4.1 *Photos de la "carte capteur" et de son déploiement*

trique est prise du secteur via un transformateur qui délivre du 12V/1A en sortie. Les 4 tensions nécessaires (2.4V, 3.3V, 5V et 6V) sont obtenues grâce à des régulateurs de puissance, capables de supporter 3A au maximum. Cependant, il s'avérait peu sécurisant de déployer cette carte à côté de la "carte capteur". En effet, les composants ne sont pas forcément à l'épreuve des conditions de cuisine (variations de température, du taux d'humidité, éclaboussures). Le choix a été fait de laisser cette carte sur le plan de travail, à proximité d'une prise secteur. De fait, l'alimentation est délivrée via un câble plat de 1m aux capteurs. Sur ce même câble plat, transite aussi les signaux de données des capteurs.

#### 4.1.2 Développement de la chaîne d'acquisition

##### Le microcontrôleur

Le microcontrôleur choisi pour le projet InOvUS est le MSP430F5529, de chez Texas Instruments. Il a été conçu pour des applications d'instrumentations, donc il correspond aux besoins : ADC, nombreuses entrées/sorties, 2 ports de communications (UART, I2C ou SPI). Ce choix est très lié aux activités du laboratoire, notamment un projet de réseau de capteurs sans fil qui utilise ce microcontrôleur (projet NODEUS [33]). Puisque le projet InOvUS pourrait être une application de ce réseau de capteurs, il semblait donc judicieux de choisir ce microcontrôleur, d'autant plus que tout le matériel était à disposition : carte

de développement MSP-TS430PN80USB, compilateur et "debugger" libre, tutoriaux pour les utiliser.

Le travail du microcontrôleur est de récupérer les données des capteurs à un rythme paramétrable, puis de les envoyer à l'ordinateur via le port série dans une trame formatée. Comme les variations de l'environnement sont lentes, la période d'échantillonnage sera de l'ordre de la seconde. Cependant, il faut quand même se prémunir du bruit inévitable sur les signaux analogiques. Un couple filtre antirepliement/filtre moyennneur numérique a été prévu (décrit à section 3.4 relative au choix des capteurs).

Le microcontrôleur possède un pilote pour chaque système et interface pertinente : ADC, UART, I2C, timer. Le microcontrôleur connaît quels sont les capteurs interconnectés aux différentes entrées. Il déclenche une série de mesures sur l'ensemble des capteurs au rythme de la fréquence d'échantillonnage, et envoie les données brutes sur le port série dans une trame formatée (voir figure 4.2). La trame est acheminée à l'ordinateur via le cp2101 (module qui encapsule les trames séries en en une connexion série virtuelle).

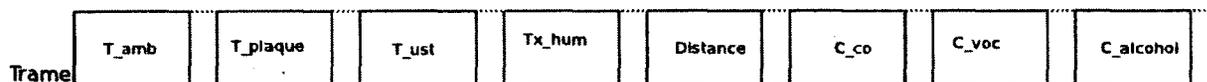


Figure 4.2 *Disposition des données des capteurs dans une trame, transmise par le MSP430 au PC via le port série.*

### Réception des données et interface graphique

Une fois sur un ordinateur, les données des capteurs vont être utilisées par un algorithme de prise de décision. Dans un premier temps, il a été choisi d'utiliser Matlab pour l'implémenter, car ce logiciel possède déjà de nombreuses bibliothèques dédiées à cet effet. De plus, c'est un outil puissant concernant le calcul matriciel et le traitement de données. Donc, sur l'ordinateur, c'est un programme Matlab qui réceptionne, traite, affiche les données.

Avant de faire tout traitement concernant l'algorithme, ce programme sert à 5 choses :

**Réception des données** : il s'interface avec le port série émulé via le cp2101, et décode la trame reçue.

**Prétraitement** : les données envoyées par le microcontrôleur sont les données brutes. Pour plusieurs capteurs, une formule doit être appliquée pour obtenir la vraie mesure. Il y a aussi le filtre moyennneur à appliquer sur les valeurs analogiques. Le MSP430F5529

ne s'en charge pas, car ces calculs impliquent des nombres flottants, et ils sont très coûteux en temps. De plus, ils nécessitent une librairie spéciale qui augmente significativement la taille du programme.

**Affichage en temps réel** : la fenêtre principale contient un graphique. Un menu déroulant permet de choisir le capteur à afficher. À chaque nouvelle trame reçue, la courbe est mise à jour. L'évolution de la situation est donc visualisable en temps réel.

**Prise de décision sur la dangerosité de la situation courante** : les algorithmes nécessaires à la prise de décision sont exécutés à chaque nouvelle trame reçue.

**Sauvegarde dans un fichier d'historique** : toutes les données sont sauvegardées dans un fichier. Le nom du fichier contient la date à laquelle les acquisitions ont débuté. Cet historique est consultable dans une fenêtre séparée de la fenêtre principale.

La figure 4.3 illustre la partie graphique du programme.

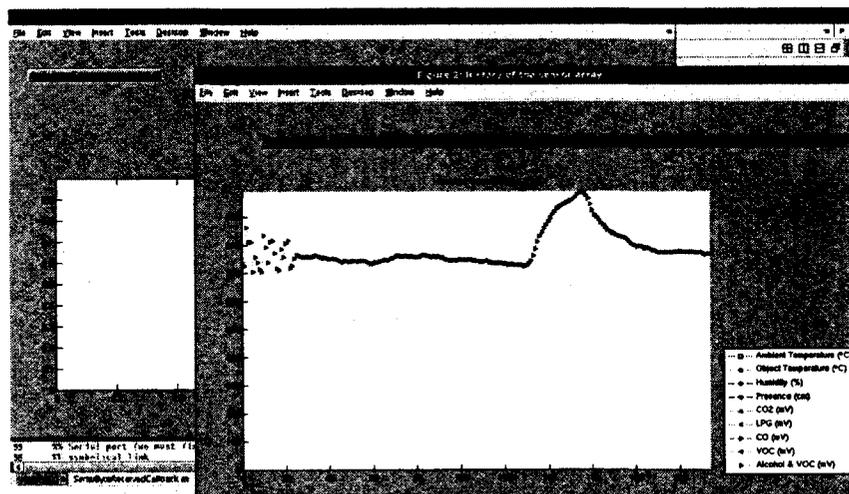


Figure 4.3 Interface graphique Matlab, avec la fenêtre principale en arrière-plan. Au premier plan, la fenêtre qui affiche l'historique.

### 4.1.3 Résumé

La figure 4.5 illustre la chaîne d'acquisition développée durant le projet InOvUS. Les flèches représentent les branchements et les signaux qui transitent dans les fils. Les différentes tensions sont fabriquées à partir du réseau d'alimentation électrique. Les données des capteurs transitent sur plusieurs fils, notés "ADCs" (5) et I2C (1). Tous ces signaux transitent sur le même câble plat. Ensuite, les données circulent depuis la "carte capteurs" jusqu'au MSP430 via la "carte alimentation", puis du MSP430 vers le PC en 1 seule trame série. À noter que tous les composants partagent la même masse, et que le MSP430 est

aussi alimenté par le secteur. La figure est représentative de la disposition du matériel dans l'espace de travail. La figure 4.4 illustre la disposition du système InOvUS dans la cuisine : les capteurs dans la hotte, le microcontrôleur sur le plan de travail gauche, le PC du le plan de travail droite et un exemple de capteurs délocalisés sur le tableau de bord du fond de la cuisinière.

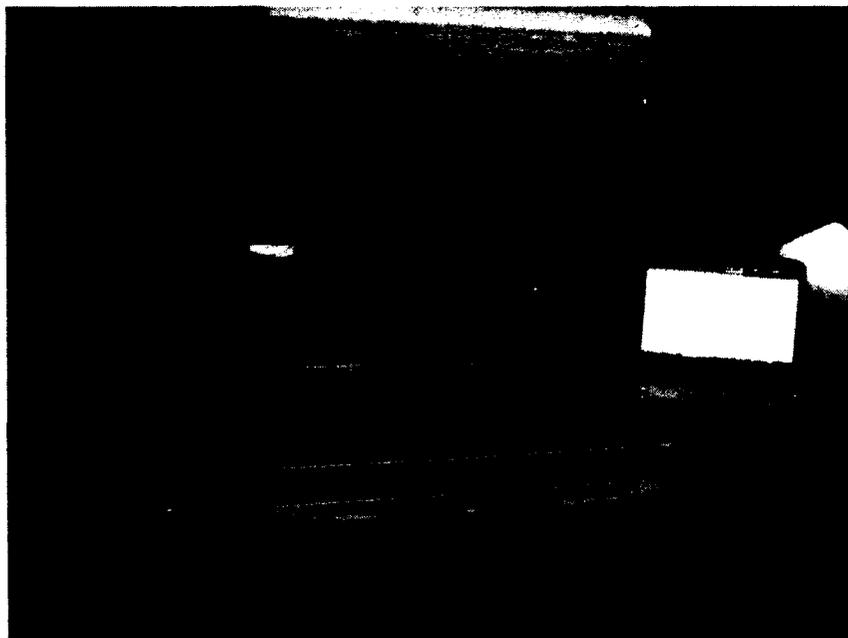


Figure 4.4 Photographie du système InOvUS dans la cuisine du laboratoire DOMUS.

Pour rappel, voici le cahier des charges initial :

- Possibilité de rajouter d'autres capteurs
- Installation physique facile
- Minimiser la gêne pour l'utilisateur

Le premier point a été respecté. La "carte capteur" a été réalisée pour que l'ajout ou la suppression de capteurs soit aisé. Concernant l'installation physique, elle est relativement facile. La carte peut être amenée n'importe où. Par contre, s'il faut placer des capteurs à des endroits différents, la manoeuvre devient tout de suite plus ardue : ajout de fils assez long, camoufflage de ces fils, orientation éventuelle des capteurs (comme pour les capteur de présence (SRF02) et de température (MLX90614)). Enfin, en l'état, la chaîne d'acquisition du projet InOvUS est une gêne pour l'utilisateur. Le maximum a été fait pour dégager les plaques chauffantes, mais il y a quand même deux capteurs sur le plan de travail. De plus, en dehors de la "carte capteur", le reste du matériel est aussi sur le plan de travail : "carte alimentation", MSP430, ordinateur portable. Sans oublier le fait que la

communication, des capteurs jusqu'à l'ordinateur, se fait en filaire : alimentation, bus de données, câble USB. Enfin, l'utilisateur n'est pas libre de choisir comment il cuisine : une seule plaque de cuisson possible, pas de ventilation, pas de lumière. L'ensemble ne donne pas encore une impression de convivialité, mais les premières bases ont été posées.

Cependant, le but général était bien de réaliser un prototype qui s'inscrit dans le contexte général du projet InOvUS. Sur ce point, cette chaîne d'acquisition est intéressante. Elle est fonctionnelle et assez facilement déployable pour qui veut expérimenter et valider des concepts (choix de capteurs ou algorithme de sécurité). Ce prototype est, selon la littérature, l'un des premiers à pouvoir surveiller efficacement la cuisinière. Il va pouvoir supporter les travaux futurs.

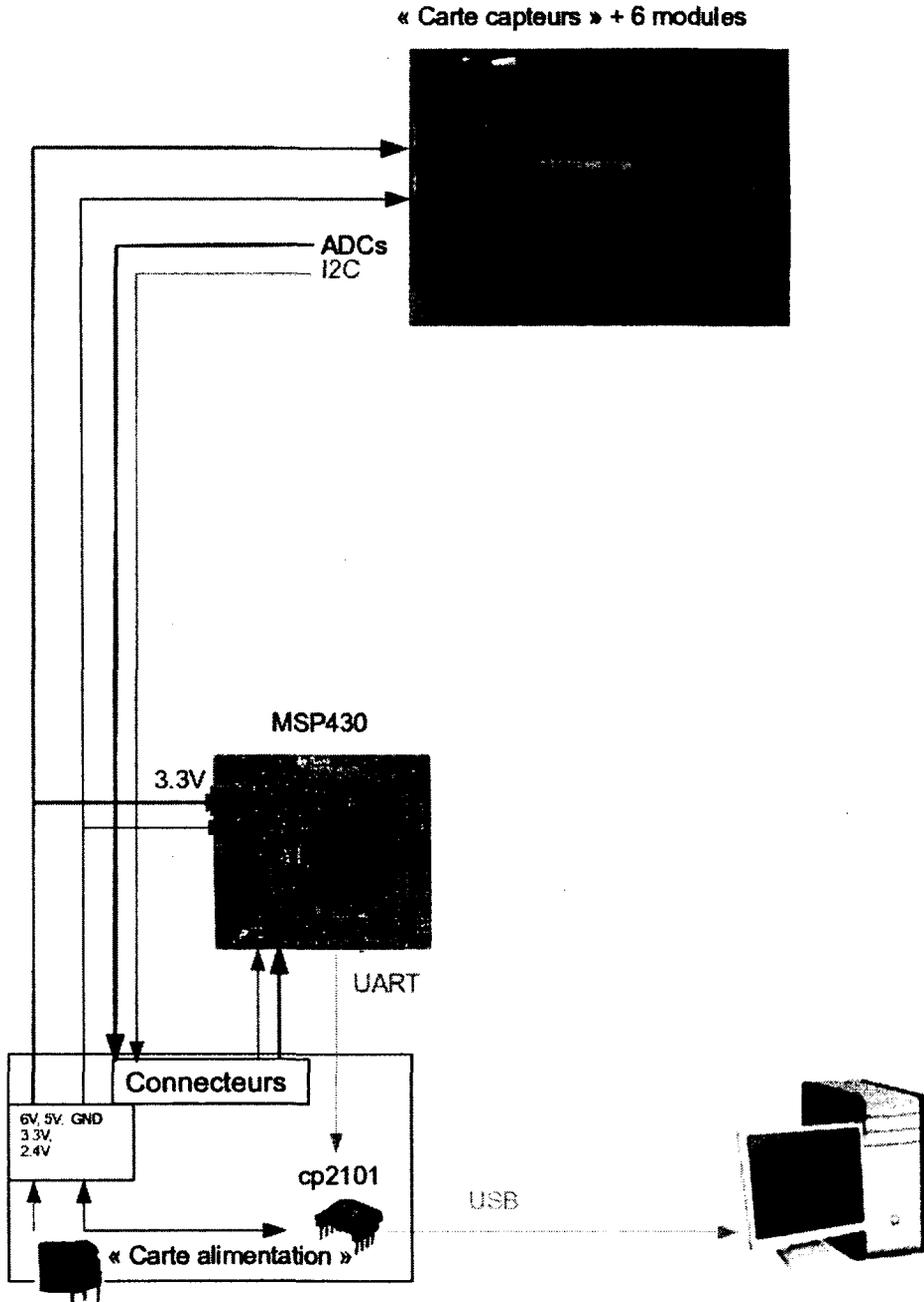


Figure 4.5 Diagramme illustrant le développement de la chaîne d'acquisition.

## 4.2 Tests unitaires des capteurs

La section précédente a montré comment les capteurs et leur chaîne d'acquisition ont été intégrés à la cuisinière, rendant possible la deuxième étape du processus. Cette section présente les séries de tests réalisés sur chaque capteur. Ils ont été orientés pour servir 3 objectifs :

### **Tester les limites des capteurs dans des conditions similaires aux situations réelles**

La cuisinière possède un environnement changeant : température, humidité, dégagement de gaz, flux d'air venant de la ventilation, lumière parasite... Il faut aussi penser que les situations réelles, même sans être dangereuses, ne sont pas toujours idéales (par exemple, petit ustensile mis par mégarde sur un rond trop large). Le comportement des capteurs est forcément différent selon les conditions. Il faut donc quantifier ces changements de comportement, pour pouvoir les compenser dans la mesure du possible. Cela permettra de valider les capteurs de manière pertinente.

### **Déterminer dans quelle mesure les données sont exploitables**

Certains facteurs limitants peuvent dégrader l'information reçue à tel point que la donnée brute peut être inexploitable. Par exemple, le capteur de température MLX90614, placé trop loin par rapport à l'objet, ne donnera peut-être pas sa température exacte.

### **Traduire les données en informations sur la situation courante**

Par exemple, la concentration en monoxyde de carbone peut indiquer un danger d'intoxication. L'analyse en profondeur des situations dangereuses, faite au chapitre 3, va être utile.

De manière plus générale, il s'agissait aussi d'acquérir des informations sur l'évolution des grandeurs physiques en situation réelle. La revue de littérature a montré des exemples de mesures en situation, mais ce n'étaient pas des travaux de référence. Les règles de prévention ne peuvent se baser là-dessus, il faut donc acquérir par nous-mêmes les connaissances nécessaires. Les tests unitaires avaient donc aussi cet objectif général en toile de fond. Les expériences menées, même les plus courtes, ont été sauvegardées de manière à être réutilisées plus tard. Ces travaux contribuent à l'un des objectifs principaux du projet InOvUS (**prise de décision sur la dangerosité de la situation**). Ils ont aussi été le théâtre de la première utilisation de la chaîne d'acquisition, présentée au chapitre précédent. Les résultats obtenus devraient permettre de valider le développement de cette chaîne.

La partie 4.2.1 décrit les conditions expérimentales. La partie 4.2.2 présente les tests réalisés sur le capteur de présence SRF02. La partie 4.2.4 résume les tests sur le capteur de température MLX90614. La partie 4.2.3 illustre les tests menés sur le capteur d'humidité H1H-5030. La partie 4.2.5 présente les tests menés sur les capteurs de gaz.

### 4.2.1 Description des conditions expérimentales

Tout ces tests unitaires ont été réalisés sur la cuisinière électrique du laboratoire DOMUS. Elle possède 4 plaques chauffantes, un four, une ventilation, et 2 lumières d'appoint sur le dessus. Malheureusement, il n'y a pas de dispositif capable de connaître l'état de ces éléments. Cela veut dire qu'il est impossible de savoir si le four, la ventilation ou les lumières sont en marche, comme il n'est pas possible de dire combien de plaques sont en marche ni lesquelles. Pour avoir ces informations, il faudrait de nouveaux capteurs. L'idée sous-jacente, c'est qu'il est impossible pour le moment de compenser l'effet de ces éléments de la cuisinière. Par conséquent, les cas testés sont limités à l'utilisation d'une seule plaque à la fois, sans mettre en marche ni le four, la ventilation, les lumières ou les autres plaques. La plaque choisie est celle du fond à gauche, car c'est la plus grande (30 cm de large) et puissante.

Les ustensiles utilisés sont ceux du laboratoire : 1 casserole et 1 bouilloire en métal brillant (forme bombée), 1 poêle en métal opaque (forme évasée). Il sera possible de tester les capteurs avec des objets de différentes formes. De plus, la casserole est moins large que la plaque chauffante. Il y aura donc, autour de la casserole, un environnement non standard (rayonnement infra-rouge, température). Cela permettra de tester des cas d'utilisation non idéaux. Ces ustensiles ont aussi été choisis pour illustrer les problèmes de différence d'émissivité entre les métaux (voir sous-section 2.3.4). Cela permettra d'illustrer la différence de comportement du capteur infra-rouge. Cependant, le fait que la poêle est opaque ne signifie pas forcément qu'elle a une émissivité forte. Il a donc fallu vérifier l'émissivité des 3 instruments. Un document du capteur de température MLX90614 donne un protocole simple pour calculer ces valeurs. Comme précisé à la section relative au choix des capteurs (3.4), le MLX90614 est calibré pour une émissivité de 1. Il suffit de coller un corps ayant une émissivité connue (comme du ruban adhésif ou de la peinture noire, qui ont une émissivité de 1) sur l'ustensile. Ensuite, il faut mesurer la température de l'objet sur l'endroit où il y a le ruban adhésif ou la peinture, puis la température de l'objet sans ruban adhésif ou peinture, et l'émissivité de l'objet peut se trouver grâce à l'équation 4.1 :

$$\epsilon_{obj} = \frac{(T_{O\_fake}^4 - T_{amb}^4)}{(T_{O\_real}^4 - T_{amb}^4)} \times \epsilon_{connu} \quad (4.1)$$

$\epsilon_{obj}$  : Émissivité de l'objet

$T_{O\_fake}$  : Température mesurée à l'endroit où le ruban adhésif est collé

$T_{O\_real}$  : Température réelle de l'objet

$T_{amb}$  : Température ambiante

$\epsilon_{connu}$  : Émissivité du ruban adhésif

Le tableau 4.1 donne les émissivités des différents ustensiles :

Casserole	0.24
Bouilloire	0.19
Poêle	1
Plaque chauffante	1

Tableau 4.1 *Tableau résumant les émissivité des ustensiles utilisés pour les tests.*

Les ustensiles et la disposition de la cuisinière sont illustrés à la figure 4.6.

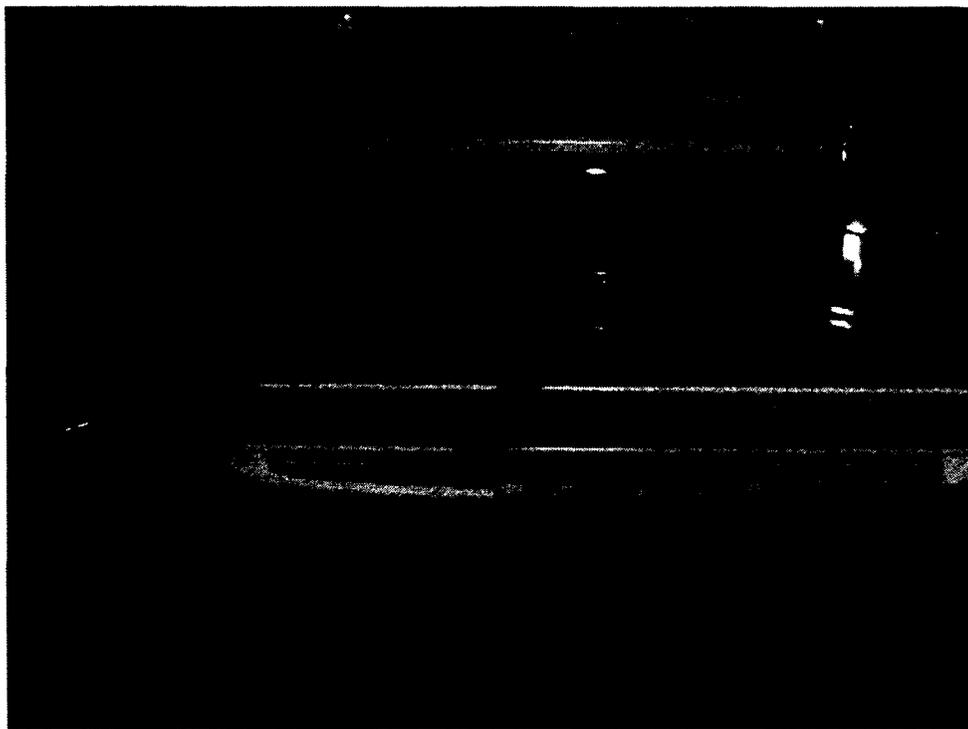


Figure 4.6 *Photo des ustensiles utilisés pour les tests, ainsi que la disposition de la cuisinière. La plaque choisie est celle du fond, à gauche.*

La fréquence d'échantillonnage a été fixée à 1 seconde. La largeur de la fenêtre du filtre moyennneur numérique est de 15 points. Le traitement informatique (récupération des données, sauvegarde, affichage des courbes, calculs des prises de décision, etc.) se fait via le programme Matlab (voir 4.1.2).

### 4.2.2 Tests unitaires sur le capteur de présence SRF02

La propagation d'une onde sonore est dépendante de son support, en l'occurrence l'air. Donc, si les conditions de l'air changent (température, taux d'humidité, présence de gaz, etc.), l'onde ne se propagera pas de la même façon. Un capteur ultra-son devra compenser ces phénomènes pour travailler dans un environnement changeant. Or, le SRF02 n'intègre pas des compensations de ce type. Il faut donc le placer à un endroit où les conditions de l'air sont le plus stables possible, sinon les mesures seront potentiellement inexploitable. Cela exclut des endroits tels que la hotte (l'air chaud, les gaz et la vapeur d'eau montent) ou le tableau de bord au fond (température trop élevée). Il a donc été choisi de le placer sur le plan de travail, à gauche de la plaque de cuisson. Il visera le bord des ustensiles. La position précise est illustrée et justifiée par les figures 4.7(a) et 4.7(b).



(a) Position du capteur : vue de dessus. Il est placé à une vingtaine de centimètres de la plaque chauffante, et vise le milieu de celle-ci. Si un ustensile est à moitié en dehors de la plaque, comme la poêle sur la photo, il ne sera pas détecté.



(b) Position du capteur : vue de face. Le capteur est à environ 2 centimètres au-dessus du plan de travail. De cette façon, il pourra détecter les ustensiles qui ne sont pas très haut, comme les poêles. À noter que, placé si bas, il peut y avoir des réflexions parasites.

Figure 4.7 *Déploiement du capteur ultra-son SRF02. Il est enfiché dans une boîte en carton de manière à ce qu'il reste stable.*

Le reste de cette section présente les expérimentations effectuées en accord avec les 3 objectifs présentés en début de chapitre. La sous-section 4.2.2 concerne les tests du capteur de présence SRF02 dans des conditions approchant les situations de cuisine réelles. La sous-section 4.2.2 concerne les événements détectables par le SRF02.

**Tests du capteur de présence SRF02 en situation réelle**

Les situations envisagées font varier l'état de la cuisinière (allumée ou non), le type d'ustensile, la position de celui-ci sur la plaque chauffante. La figure 4.8 illustre les différentes positions testées. Le tableau 4.2 résume les mesures obtenues dans les différentes situations. Une série de mesure a été faite pour chaque cas, en suivant ce protocole :

- Un ustensile
- Plaque chauffante allumée ou non
- L'ustensile était déplacé dans chacune des 7 positions. Il restait environ 25 secondes dans chaque position.

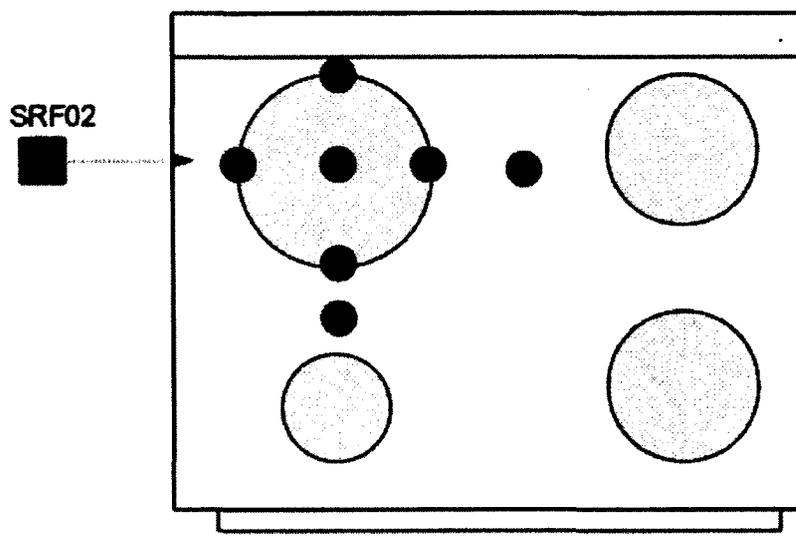


Figure 4.8 – Position sur la plaque des ustensiles pour les tests du capteur SRF02. Les points correspondent à la position du centre de l'ustensile.

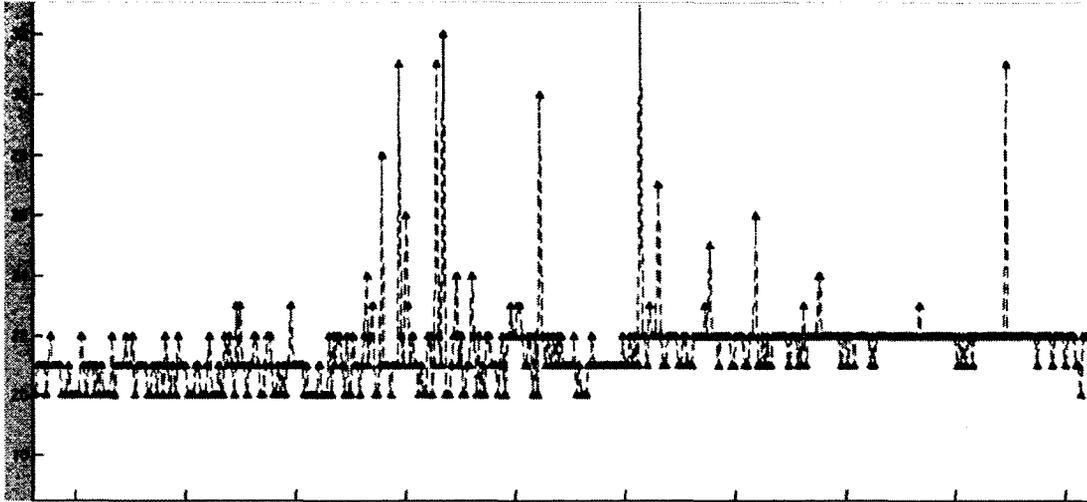
thermostat 0	n°1	25 cm	26 cm	23 cm
	n°2	43 cm	45 cm	44 cm
	n°3	70-90 cm	90 cm	95 cm
	n°4	25 cm	28 cm	26 cm
	n°5	34 cm	34 cm	35 cm
	n°6	22 cm	19 cm	21 cm
	n°7	25 cm	27 cm	21 cm
thermostat 8	n°1	26 cm	25 cm	24-29 cm
	n°2	49-72 cm	47-64 cm	42-125 cm
	n°3	97-136 cm	63-107 cm	87-99 cm
	n°4	27 cm	24 cm	26 cm
	n°5	32-48 cm	31-93 cm	34-57 cm
	n°6	19 cm	21 cm	18 cm
	n°7	26 cm	25 cm	18 cm

Tableau 4.2 *Tableau des mesures de distance effectuées par le SRF02, en fonction de l'ustensile et de sa position sur la plaque.*

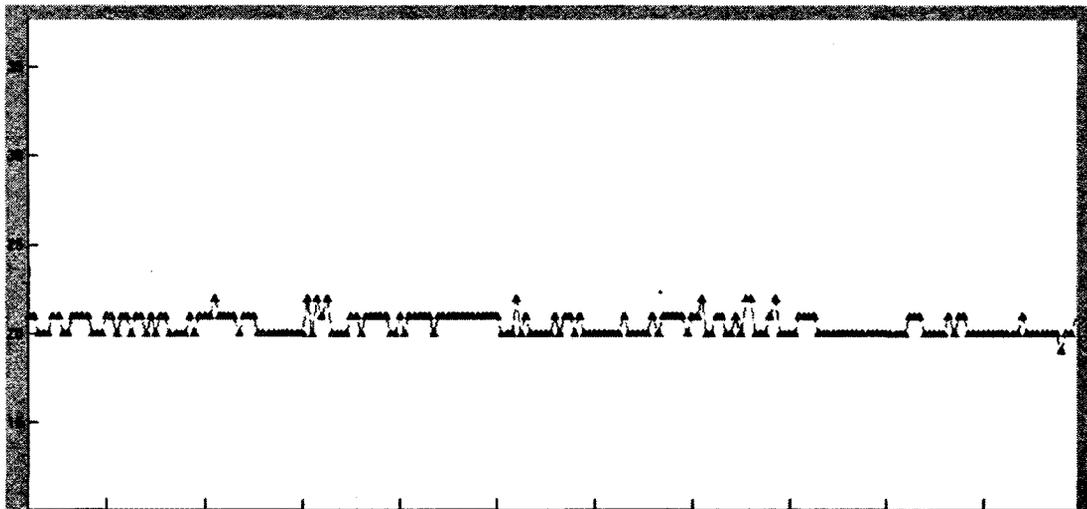
Rien que sur les situations où la cuisinière est au repos, on peut remarquer plusieurs choses. Premièrement, le capteur mesure bien une distance différente selon l'emplacement de l'ustensile. Plus intéressant, la différence de distance entre les cas n°2 et n°3 (ustensile en dehors de la plaque) et les autres cas (ustensile sur la plaque ou en partie) est de l'ordre de 30 cm. De plus, il semble que la position très basse du capteur ne provoque pas de réflexions. Il aura quand même fallu l'orienter de manière parfaitement horizontale. Pour le maintenir stable, il a été enfiché dans une boîte de carton. Sans ces précautions, les réflexions parasites apparaissent, et amènent des valeurs aberrantes dans les cas où l'ustensile est à plus de 30 cm du capteur. Pour finir, le fait que les ustensiles aient une forme et une taille différente ne semble pas poser problème.

Les tests réalisés avec la plaque chauffante allumée apportent des informations intéressantes. En effet, ces tests ont confirmé que la propagation de l'onde ultra-sonore n'est pas la même selon la température de l'air. À chaque fois où il y a de l'air chaud entre le capteur et l'objet, la mesure devient beaucoup moins fiable. C'est le cas notamment quand l'ustensile n'est pas parfaitement au milieu. Mais c'est aussi le cas quand celui-ci est plus petit que la plaque chauffante, comme la casserole. Cela ne s'est pas vu sur ces tests de seulement 25 secondes, mais c'est flagrant en situation réelle. La figure 4.9 montre des mesures de distance faites pour la préparation de pâtes dans la casserole et la cuisson de viande dans la poêle. La poêle est plus large que la plaque chauffante. Le flux d'air chaud entre le capteur et l'ustensile est moindre, ce qui amène à des mesures plus nettes comme sur la figure 4.9(a). Au contraire, la casserole est moins large que la plaque chauffante.

Donc, quand l'ustensile est placé au milieu, l'extérieur de la plaque chauffe l'air. L'air autour de la casserole est chaud, ce qui amène à des mesures variables comme sur la figure 4.9(b).



(a) Mesures de distance (en cm) sur une casserole d'eau à chauffer, celle-ci étant placée au milieu de la plaque.



(b) Mesures de distance (en cm) sur une poêle contenant de la viande à cuire, celle-ci étant placée au milieu de la plaque.

Figure 4.9 *Figures illustrant la dépendance des mesures du SRF02 à la taille de l'ustensile.*

Néanmoins, on constate que l'écart de mesure entre les cas où l'ustensile est franchement sur la plaque (n°1, n°6, n°7) et les cas où il est en dehors (n°2 et n°3) est toujours significatif (5cm et plus). Pour le cas n°4, où l'ustensile est à la limite du rayon d'action du capteur, les mesures sont bonnes. Par contre, pour le cas n°5, il y a trop d'air chaud entre le capteur et l'ustensile, les mesures sont très variables.

L'importance de ces résultats sera expliquée dans la sous-section suivante 4.2.2.

### Détection d'événements dans la situation courante grâce au capteur de présence SRF02

Ces tests confirment qu'il est possible de détecter qu'un objet est sur la plaque de cuisson. En effet, les différences de distance mesurée selon la position de l'ustensile rendent possible l'utilisation d'une zone de confiance. À l'intérieur de cette zone, un objet est considéré comme étant sur la plaque de cuisson.

La première chose à faire est de définir cette zone. Pour le projet InOvUS, cela s'est fait de manière intuitive : si la moitié de l'objet n'est pas sur la plaque, il ne reçoit pas assez de chaleur pour être dangereux. Il est alors considéré comme en dehors. Cette affirmation n'est pas justifiée par des mesures, mais par des observations visuelles. Cette zone de confiance est illustrée à la figure 4.10(a).

Avec ces données en main, la détection peut se faire automatiquement en comparant la distance courante relevée par le capteur avec des valeurs seuils. Selon le tableau 4.2, la frontière haute se situe aux positions n°5 et n°4. La distance du capteur à ces positions est respectivement de 35 cm et 25 cm. La distance seuil de 25 cm est restrictive, car tous les cas où l'ustensile est à droite seront ignorés. D'un autre côté, la distance seuil de 35 cm est permissive : même si l'ustensile est très en dessous de la plaque, il sera détecté. Le choix s'est porté sur une valeur permissive, pour se protéger des variations de mesures dues à la chaleur. La limite basse (positions n°6 et n°7) a été fixée à 15 cm. La détection se fait selon l'algorithme 1.

---

#### Algorithm 1 Algorithme de détection de présence d'objet sur la plaque.

---

```

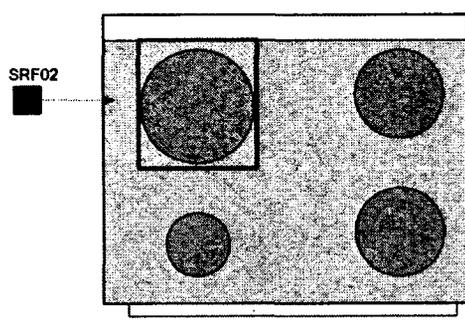
if currentDistance ≤ 35 || currentDistance ≥ 15 then
    isObjectOnTheHotplate
else
    !isObjectOnTheHotplate
end if

```

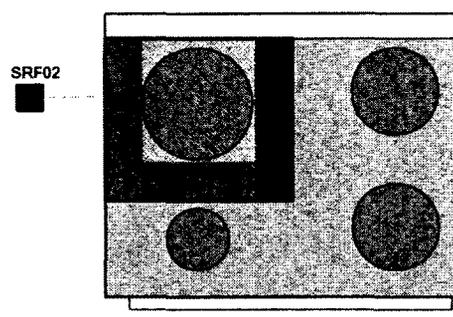
---

Pour valider cette partie, des tests similaires aux tests unitaires du capteur ont été réalisés, à la différence près que toute la surface autour de la plaque a été couverte. En tout, 12 positions ont été testées pour chaque ustensile : 6 à l'intérieur de la zone de confiance, et 6 en dehors. Tous les cas où l'ustensile était à l'intérieur ont été bien détectés (vrai positif). Par contre, pour chaque ustensile, seulement les cas très éloignés de l'extérieur de la zone

de confiance ne sont pas détectés, ce qui laisse beaucoup de potentiels faux positifs. Dès qu'un ustensile est en position n°3 ou plus proche, le système le considère comme étant sur la plaque. Mais ce comportement était prévu dès le choix des valeurs seuils. Il peut être réglé par l'utilisation de plusieurs capteurs. En revanche, si l'ustensile est en position n°5 ou avoisinant de quelques centimètres, la détection est erratique quand la plaque est chaude. Il y a trop d'air chaud entre le capteur et l'objet, et comme la distance en ces points est proche de la limite haute, la mesure oscille en permanence juste au-dessus ou juste en dessous du seuil de détection. C'est une zone où le comportement est indéterminé. Ces résultats sont illustrés par la figure 4.10(b)



(a) En vert : zone dans laquelle un ustensile est considéré comme étant sur la plaque chauffante. En rouge : zone dans laquelle un ustensile est en-dehors de la plaque chauffante.



(b) En vert clair : zone dans laquelle le système détecte un ustensile sur la plaque chauffante (vrai positif). Les zones vert foncé correspondent aux faux positifs : les ustensiles sont détectés alors qu'ils sont en dehors de la plaque. La zone hachurée est la zone morte. En rouge : les ustensiles ne sont pas détectés (zone des vrais négatifs).

Figure 4.10 Figures illustrant respectivement la zone de détection d'un objet idéale et celle du système actuel. Les lignes de frontière correspondent aux positions du centre de l'ustensile.

Les tests menés sur le capteur de présence SRF02 sont mitigés. Une détection d'objet instantanée sur la plaque chauffante est réalisable, mais avec des limitations :

**Placement du capteur** Il doit être disposé sur le côté et en dehors de la cuisinière. Cela implique d'occuper un plan de travail, qui ne pourra par conséquent plus servir pour l'utilisateur. Il faut aussi qu'il soit orienté assez précisément à l'horizontale et bien stable, pour se prémunir des réflexions de l'onde sonore.

**Sensibilité à la température de l'air** Dès que l'air entre le capteur et l'ustensile est chaud, les mesures sont très variables. Cela réduit la fiabilité du système. En effet, si

l'ustensile est placé à une distance proche de la limite haute, la détection n'est plus assurée. En conséquence, il faut éviter de poser un ustensile dans cette zone morte.

Pour la suite des tests, les ustensiles seront placés bien au milieu de plaque chauffante.

### 4.2.3 Tests unitaires sur le capteur d'humidité H1H-5030

Comme expliqué dans la partie relative au déploiement des capteurs sur la cuisinière (4.1.1), un hygromètre est à sa place dans la hotte. En effet, la vapeur d'eau est transportée par les fumées dégagées pendant la cuisson, qui vont toujours vers le haut. Pour s'assurer de son bon fonctionnement, ce capteur a été étalonné avec une petite station météo du commerce, que l'on place dans la cuisine. Cette section présente les expérimentations effectuées en accord avec les 3 objectifs présentés en début de chapitre. La sous-section 4.2.3 concerne les tests dans des conditions approchant les situations de cuisine réelles. La sous-section 4.2.3 concerne les événements détectables par le capteur d'humidité H1H-5030.

#### Tests du capteur d'humidité H1H-5030 en situation réelle

Intuitivement, les situations où le taux d'humidité va varier impliquent de l'eau portée à ébullition. La première série de tests s'est concentrée sur ces cas. Les ustensiles communément utilisés pour faire chauffer de l'eau sont la bouilloire et la casserole. Un couvercle peut être posé sur la casserole. Ces 3 cas ont été réalisés selon le protocole suivant :

- Ustensile rempli à moitié d'eau
- Thermostat 8
- L'eau est portée à ébullition, ce qui marque la fin de l'expérience.

La figure 4.11 illustre les résultats obtenus. À noter que ce sont seulement les 200 dernières secondes qui sont affichées pour les cas avec la casserole, quand l'eau commençait à frémir, les expériences durant la plupart du temps 500 secondes. Le taux d'humidité varie de 3% ou 4% avant ces points quand il n'y a pas de couvercle. Pour le cas où il y en a un, il est retiré à la 100e seconde. Pour le cas de la bouilloire, la totalité de l'expérience est affichée : l'ébullition n'a pris que 200 secondes.

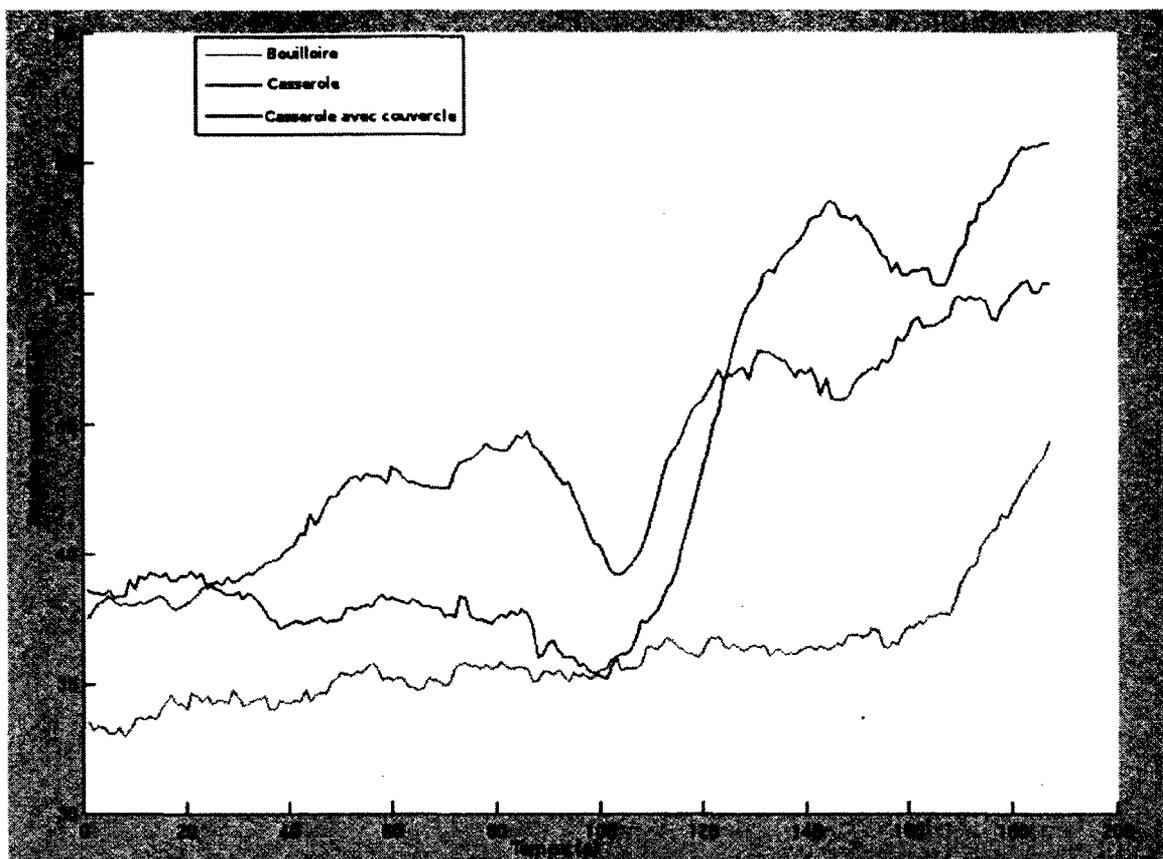


Figure 4.11 Figure illustrant le taux d'humidité quand l'eau bout dans différentes situations : bouilloire, casserole, casserole avec un couvercle.

Comme prévu, les variations du taux d'humidité dépendent de la quantité de vapeur d'eau rejetée. Tant que le couvercle est sur la casserole, la vapeur d'eau n'a aucun moyen de s'échapper. La même remarque s'applique à la bouilloire, qui ne laisse une ouverture que quand elle siffle. Cependant, dès que la vapeur d'eau s'échappe, l'hygromètre réagit immédiatement.

Comme le cas où la casserole n'est pas recouverte apporte le plus d'informations, cette situation a servi de base pour recueillir des connaissances sur le phénomène de l'ébullition. Comme indiqué plus haut, avant que l'eau frémissse, il y a quand même eu une augmentation de quelques %. Cela veut dire qu'il y a eu un peu de vapeur d'eau rejetée, qui indiquait que quelque chose était sur le feu. Ensuite, une nouvelle augmentation de 5% indiquait que l'eau était en train de frémir, donc que sa température globale était en augmentation. Enfin, à l'ébullition, le taux d'humidité a bondi de 10%, indiquant que la température globale de l'eau était autour 100°C. Il est important de nuancer, concernant la température de l'eau dans la casserole : l'eau du fond n'a pas la même température que l'eau en surface. Quand il y'a dégagement de vapeur, ce sont des molécules d'eau du

fond de la casserole qui sont à 100°C, et qui remontent vers la surface. Celles du dessus sont à une température inférieure. Passée cette précision, le point important reste que les variations du taux d'humidité, quand celui-ci est accessible, sembleraient être un bon marqueur concernant la dangerosité de la température de l'eau dans un récipient. À noter qu'on parle bien des variations : l'humidité relative en elle-même change de jour en jour. Ce sont les augmentations ou diminutions rapides qui sont intéressantes.

Pour confirmer l'affirmation précédente, une série de tests a été faite sur un cas où la température de l'eau est dangereuse. Comme auparavant, les ustensiles sont la bouilloire, la casserole, et la casserole avec un couvercle. Ces trois situations ont été mises en oeuvre selon le protocole suivant :

- Ustensile rempli à moitié d'eau
- Thermostat 8
- L'eau est portée à ébullition pendant 2 minutes. Au bout de ce laps de temps, l'expérience s'arrête.

Si un volume d'eau passe 2 minutes à l'ébullition, sa température globale est plus élevée, donc plus dangereuse. Le taux d'humidité a été relevé au début de l'expérience, au point d'ébullition, 1 minute après l'ébullition et enfin 2 minutes après ébullition. Pour le cas de la casserole recouverte, le couvercle a été soulevé aux moments voulus et la mesure du taux d'humidité faite au bout de 20 secondes. Les résultats sont résumés au tableau 4.3. La conclusion de cette série est qu'il n'y a pas plus de vapeur qui se dégage si on laisse l'eau à chauffer plus longtemps. C'est le dégagement continu qui fait augmenter le taux d'humidité. Le cas de la casserole recouverte le prouve. Pendant les 40 secondes où il n'y a pas de dégagement de vapeur, le taux d'humidité a le temps de revenir à sa valeur de départ. Pendant les 20 secondes où la vapeur peut se libérer, le taux d'humidité atteint toujours la même valeur. Donc, cette grandeur physique ne peut être considérée comme le meilleur indice concernant la température de l'eau en train de bouillir. Néanmoins, il est possible d'affirmer à coup sûr que, si l'augmentation du taux d'humidité est trop forte, alors il y a de l'eau sur le feu à une température dangereuse.

Bouilloire	40%	51%	77%	86%
Casserole	40%	62%	75%	83%
Casserole + couvercle	40%	57%	54%	58%

Tableau 4.3 *Tableau illustrant le taux d'humidité selon la température de l'eau en train de bouillir.*

Une dernière série de tests concernait l'évolution du taux d'humidité en situation de cuisson réelle. En fait, ce sont les expériences qui concernaient à la base les capteurs de gaz (décrites à la section 4.2.5). Il en ressort qu'à la fin de la cuisson d'oignons, le taux d'humidité a augmenté de 8%. Pour les autres cas, le taux d'humidité a sensiblement diminué. Le cas dangereux de l'huile sur le feu a provoqué, quant à lui, une diminution spectaculaire de 30%.

### **Détection d'événements dans la situation courante grâce au capteur d'humidité H1H-5030**

Les tests précédents montrent qu'il est envisageable de prévenir le danger de brûlures par éclaboussures grâce au taux d'humidité. En effet, il ne varie de façon significative que quand un liquide est en train de chauffer. Les tests ont aussi montré qu'il existait des seuils entre des situations normales et dangereuses. Ils pourront être utilisés pour mettre en place un algorithme simple.

La mise en place de cet algorithme nécessite de prendre un peu de recul. Dans le contexte général du projet InOvUS, l'accent est mis sur le compromis à trouver entre sécurité et confort de l'utilisateur. En terme plus scientifique, cela se traduit par le compromis entre un bon taux de détection et un faible taux de fausses alarmes. Cependant, on se retrouve ici devant un problème : selon la partie relative à l'analyse du danger des brûlures (3.3.1), un liquide à seulement 70°C peut causer des brûlures s'il y a éclaboussures. Or, ces températures se rencontrent dans toutes les cuissons. Ces températures intrinsèquement dangereuses sont normales dans la cuisine. C'est pour cela qu'un système de prévention à 3 niveaux a été imaginé :

- Niveau 0 : Situations sans dangers
- Niveau 1 : Situation dangereuse, mais normale
- Niveau 2 : Situation très dangereuse, donc anormale

Dans une solution de prévention complète, il faut imaginer qu'à ces 3 niveaux de dangers correspondent 3 niveaux d'intervention : au niveau 1 par exemple, seulement des rappels pour ne pas importuner l'utilisateur, mais lui rappeler fermement la situation. De cette manière, on préserve au maximum le confort de la personne en gardant l'aspect prévention (alarme adaptée à la situation). À noter que ce système à 3 niveaux a été adopté dans le reste du système de prévention contre les brûlures en général. En accord avec l'analyse des données de la section précédentes, des valeurs seuils ont été assignées aux différents

niveaux de danger. Le niveau correspond à une augmentation de 5% ou plus, le niveau 2 à 30% ou plus.

La notion même d'augmentation implique la comparaison avec une valeur de départ. Cette valeur ne peut être le premier taux d'humidité enregistré, car il peut s'écouler des heures avant de voir une cuisson intervenir. Or, durant cette période, le taux d'humidité de l'air a le temps d'évoluer de manière naturelle. Le taux d'humidité de référence doit être celui au début de la cuisson, c'est-à-dire la première valeur enregistrée après détection d'un objet sur la plaque. Un cas particulier a été envisagé : l'utilisateur enlève l'ustensile de la plaque et le remet rapidement. Si une condition particulière n'est pas introduite, le système considérant qu'une nouvelle cuisson est en route, prendra une nouvelle valeur de référence. Cette valeur serait complètement fautive, puisqu'on a montré qu'il faut aux alentours de 40 secondes pour que le taux d'humidité reprenne sa valeur d'origine. Donc, une condition spéciale a été ajoutée : si l'ustensile est re-détecté au bout d'un temps inférieur à 40 secondes, la valeur de référence précédente est gardée.

La prévention des brûlures par éclaboussures se fait donc comme l'algorithme 2.

---

**Algorithm 2** Algorithme de prévention des brûlures par éclaboussures.

---

```

if (isObjectOnTheHotplate && !wasObjectOnTheHotplate &&
timeBetweenTwoObjectDetection ≥ 40s) then
    humidityReferenceValue = humidityCurrentValue
end if

splashBurningDanger = 0
if (currentHumidity ≤ humidityReferenceValue + 30 || currentHumidity ≥
humidityReferenceValue + 5) then
    splashBurningDanger = 1
else if (currentHumidity ≥ humidityReferenceValue + 30) then
    splashBurningDanger = 2
end if

```

---

La détection de présence via le capteur de présence SRF02 est donc utilisée. Or, les tests réalisés sur cette partie ont montré que des erreurs étaient possibles. Dans le cadre de tests concernant la prévention des brûlures par éclaboussures, il ne semble pas judicieux de dépendre d'un système sujet aux erreurs. Donc, la mesure de distance a été simulée pour cette série de tests. Pour tester ce système de prévention, des expériences similaires aux tests unitaires ont été menées. Ici, de l'eau a été mise à bouillir dans différents ustensiles. Pour tester les cas anormaux, de l'eau a été chauffée bien après l'ébullition dans la casserole et la bouilloire. Le but est, d'une part, de regarder l'évolution du niveau de

danger dans différents cas normaux ou limites. Pour les cas dangereux, l'attention s'est portée sur le temps de détection. Le problème qui se pose concerne l'évaluation du système de prévention : comment savoir si le niveau de danger correspond bien à la réalité ? La méthode choisie est décrite au tableau 4.4. Elle ne permet bien sûr pas de tracer une frontière nette entre les différents niveaux de danger, puisque l'évaluation de la douleur reste à l'appréciation du volontaire. Néanmoins, cela donne quand même une idée. Les résultats pour les cas normaux et limites sont résumés par la figure 4.12, par le tableau 4.5 pour les cas anormaux.

Contact non douloureux	Eau froide ou tiède (niveau de danger = 0)
Contact douloureux, mais supportable	Eau chaude (niveau de danger = 1)
Contact insupportable	Eau très chaude (niveau de danger = 2)

Tableau 4.4 Méthode d'évaluation du niveau de danger de brûlures

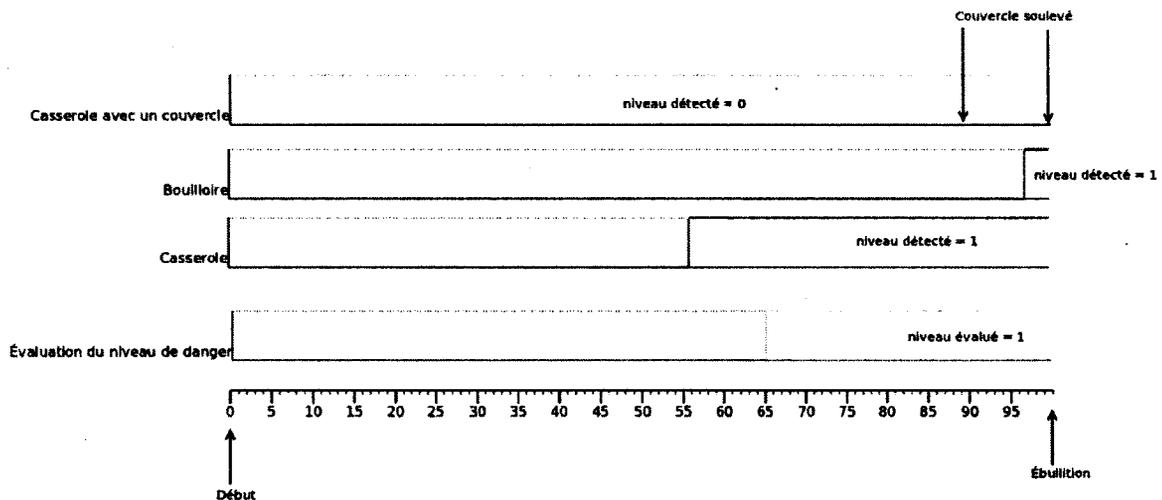


Figure 4.12 – Diagramme résumant l'évolution du niveau de danger détecté par le système (en rouge) pour des situations normales. Le niveau de danger réel (en vert), évalué grâce à la méthode résumée au tableau 4.4, sert de point de comparaison pour évaluer les performances du système.

Casserole	Point d'ébullition	Point d'ébullition + 145 secondes
Casserole + couvercle	Point d'ébullition ou après, quand le couvercle est enlevé	Le couvercle doit resté en dehors pendant au moins 60 secondes
Bouilloire	Jamais	Point d'ébullition + 50 secondes

Tableau 4.5 *Tableau résumant le temps de détection des situations dangereuses*

Les résultats sont conformes à ce qui était attendu. La présence d'un couvercle sur la casserole empêche l'évaluation du danger. Cependant, on peut considérer que le danger d'éclaboussures est nul si une casserole est recouverte. Des éclaboussures peuvent se produire dès l'enlèvement du couvercle, et dans ce cas le danger doit être détecté rapidement. Or, le système n'offre pas cette fonctionnalité. Il est nécessaire d'attendre un certain temps après le retrait du couvercle pour le niveau de danger passe au maximum. On peut aussi considérer que le danger d'éclaboussures dans le cadre de l'utilisation d'une bouilloire est nul. Dans ce cas, la réponse du système n'est pas conforme aux attentes, car il y a quand même dégagement de vapeur d'eau quand celle-ci siffle. Néanmoins, il est quand même intéressant que le niveau de danger change pour la bouilloire. Cela permettra de prévenir l'utilisateur qu'il l'a laissé sur le feu s'il ne l'a pas entendu. À noter que le temps de détection avec la bouilloire est très faible. Cela peut s'expliquer par le fait que la vapeur dégagée est concentrée, tandis que dans le cas d'une casserole, elle tourbillonne mollement. Pour le cas de la casserole sans couvercle, le temps de détection d'une situation dangereuse est correct : ni trop long, ni trop court pour préserver le confort de l'utilisateur.

D'une manière plus générale, cette section contribue à l'un des objectifs principaux du projet InOvUS (**prise de décision sur la dangerosité de la situation**). Grâce à un capteur d'humidité, le danger de brûlures par éclaboussures peut être prévenu. Ces bons résultats valident incidemment l'approche de travail choisie pour sélectionner les capteurs.

#### 4.2.4 Tests unitaires sur le capteur de température MLX90614

Le MLX90614 peut mesurer la température d'un objet grâce à son rayonnement infrarouge. Pour cet usage, il a donc besoin d'être orienté vers l'objet. Il y a 2 éléments qui peuvent être dangereux de par leur température : l'ustensile, mais aussi la plaque chauff-

fante. Si l'utilisateur allume sa cuisinière, mais sans mettre d'ustensile dessus, la plaque devient un danger. Il faut donc prévoir une surveillance pour les deux cas.

Cela peut se faire avec un seul capteur, par exemple placé sur le tableau de bord du fond et orienté en diagonale. De cette façon, il peut viser l'ustensile s'il y en a un, la plaque chauffante si elle est libre. Mais comme pour le capteur de présence SRF02, la température ambiante à cet endroit est beaucoup trop importante. Le capteur n'y résisterait pas. Une autre solution serait à la verticale de la plaque. Mais cela implique trop de limites. En premier lieu, le capteur visera le fond de l'ustensile, qui dans la plupart des cas n'est pas représentatif de l'ensemble (présence de nourriture, d'un couvercle, etc.). Il y a aussi les limites du capteur en lui même. Dans la hotte, il est placé à une hauteur de 60cm. Comme expliqué à la sous-section 2.3.4, les 2 caractéristiques importantes de ce type de capteur sont le champ de vision et l'émissivité pour laquelle il est calibré. Le capteur de température MLX90614 possède un champ de vision de 90°. À une hauteur de 60 cm, il va être sensible au rayonnement infra-rouge sur un diamètre de 60 cm, deux fois plus que le diamètre de plaque et il est calibré pour des objets ayant une émissivité de 1. Or, comme mentionné dans le protocole (4.2.1), les ustensiles n'ont pas toujours une émissivité haute. Donc, pour le cas de la bouilloire ( $\epsilon = 0.19$ ) par exemple, il ne recevra que très peu de rayonnement infra-rouge, qui en plus sera noyé avec le rayonnement environnant. Il a donc été choisi de placer le capteur de température MLX90614 sur le plan de travail, à 15 cm de la plaque de cuisson. Il visera le bord des ustensiles. Concernant la plaque chauffante ( $\epsilon = 1$ ), placer le capteur dans la hotte est une bonne solution. La seule limitation est la hauteur trop importante pour le champ de vision du capteur.

Pour résumer, il y a un capteur dans la hotte (sur la "carte capteur") et un autre sur le côté, à une dizaine de centimètres de la plaque chauffante et enfichée dans une boîte en carton. Les positions de ces 2 capteurs sont illustrées par les figures 4.13(a) et 4.13(b). À noter que pour faire fonctionner 2 capteur MLX90614 sur le même bus I2C, il faut leur assigner 2 adresses différentes.

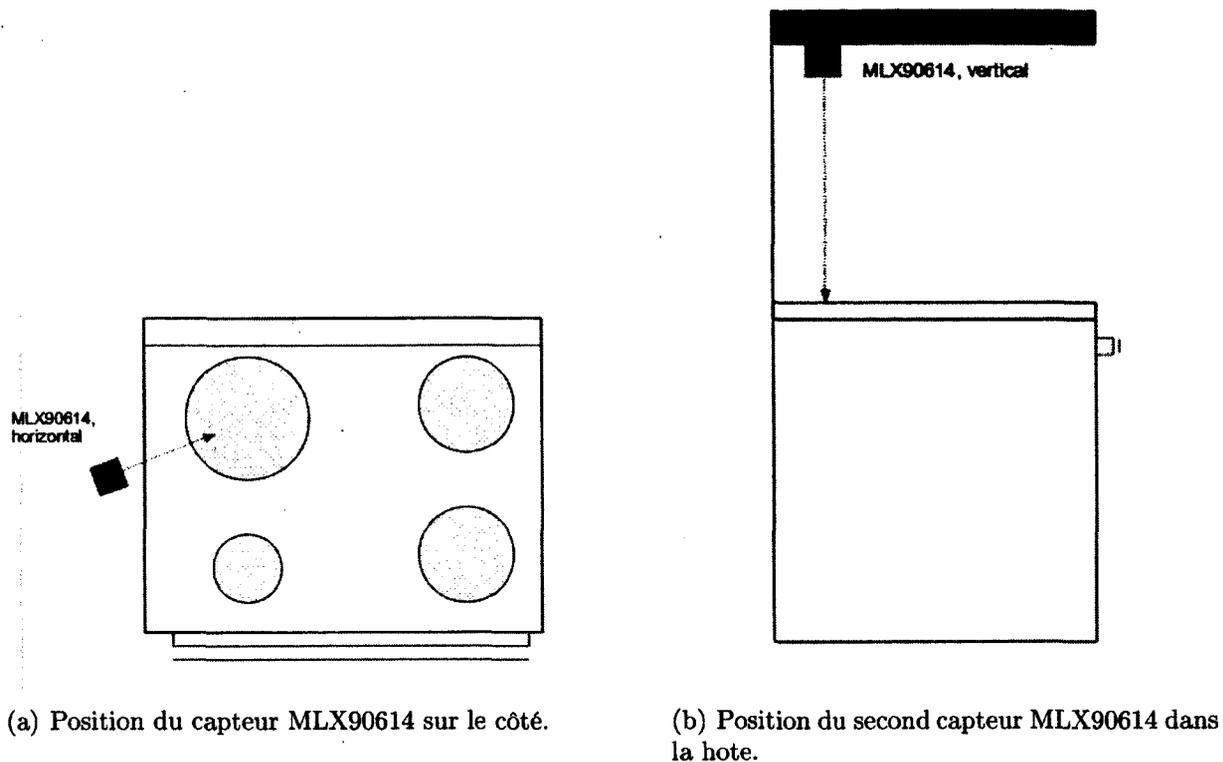


Figure 4.13 *Position des 2 capteurs MLX90614 dans l'environnement de la cuisinière.*

Le reste de cette section présente les expérimentations effectuées en accord avec les 3 objectifs présentés en début de chapitre. La sous-section 4.2.2 concerne les tests des capteurs MLX90614 dans des conditions approchant les situations de cuisine réelles. La sous-section 4.2.2 concerne les événements détectables par les capteurs MLX90614.

### Tests des capteurs de température MLX90614 en situation réelle

La première série de tests concerne le capteur de température MLX90614 placé dans la hotte. Son but est de mesurer la température de la plaque, qui a une émissivité forte. Il n'y aura pas de problème de ce côté. Comme expliqué en introduction de cette section, la difficulté vient du champ de vision du capteur. Il est trop important en comparaison de la hauteur (60 cm) et de la taille de la plaque (30 cm de diamètre). Pour caractériser le phénomène, le capteur a été placé à trois hauteurs différentes, pour mesurer la température de la plaque sur les trois positions du thermostat. Les résultats sont consignés dans le tableau 4.6. La conclusion est que le champ de vision du capteur joue un rôle important,

et c'est à haute température que c'est le plus évident. En effet, plus la température réelle de la plaque est haute, plus le contraste avec les alentours est fort. Comme le capteur va prendre en compte le rayonnement infra-rouge des alentours, la température ressentie sera plus fortement atténuée que lorsque le contraste est moins fort. Néanmoins, grâce à ce tableau, il est possible d'identifier les mesures correspondant à des températures dangereuses même sans les vraies valeurs.

Thermostat 8	100°C	150°C
Thermostat 5	75°C	110°C
Thermostat 2	52°C	84°C

Tableau 4.6 *Tableau résumant l'influence de la hauteur du capteur, et donc de son champ de vision, sur la mesure de la température de la plaque de cuisson.*

Pour évaluer les performances d'un tel capteur sur les ustensiles, puisque la mesure sera forcément incorrecte à cause de l'émissivité, il faut le tester avec des objets dont on connaît la température. Le cas le plus simple à étudier est celui de l'eau en train de bouillir. Comme expliqué dans l'état de l'art avec l'équation 3.1, lorsque'il y a échange de chaleur par contact entre 2 corps, la température de celui qui reçoit de la chaleur ne peut excéder celle du corps qui donne. Dans le cas de l'eau en train de bouillir, la température de l'eau ne peut dépasser celle de son contenant. Donc, à l'ébullition, une casserole ou une bouilloire doit être aux alentours de 100°C. 12 expériences ont été conduites : 3 avec la bouilloire, 3 avec la poêle, les 6 autres avec la casserole. Elles ont été imaginées pour représenter un maximum de cas de la vie courante. Le thermostat était toujours au maximum. Les résultats sont résumés dans le tableau 4.7. Ces résultats mettent en lumière le fait que les 2 facteurs limitants (émissivité des ustensiles et champ de vision) du capteur de température MLX90614 sont influents, et que la dimension des ustensiles pose le plus gros problème.

Les mesures à l'ébullition de la température de la bouilloire (40°C) et de la poêle (65°C) montre l'influence de l'émissivité de l'ustensile : le rayonnement infra-rouge, à température constante, est plus faible pour la bouilloire. La raison pour laquelle la température de la poêle n'est pas à 100°C est sa trop faible hauteur par rapport au champ de vision du capteur. À une distance de 15 cm, le MX90614 englobe un cercle de 15 cm de diamètre, alors que la poêle ne fait que 5 cm de hauteur. Le capteur est donc sensible au rayonnement infra-rouge environnant, d'où l'atténuation dans la mesure. Mais le point important, c'est que la mesure n'est pas influencée par l'état initial de la cuisinière : même si la plaque a été préchauffée, la température à ébullition reste la même. Donc, pour ces deux ustensiles,

Bouilloire		40°C
Poêle		65°C
Casserole	Placée sur le côté inférieur gauche de la plaque	58°C
Casserole	Placée sur le côté inférieur gauche de la plaque Capteur à une hauteur de 7 cm	58°C
Casserole	Placée bien au milieu	80°C
Casserole	Placée sur le côté supérieur droit de la plaque	110°C
Casserole		111°C
Poêle	Plaque préchauffée avant de poser l'ustensile	67°C
Bouilloire	Ustensile placé au milieu	45°C
Poêle	Chauffé à vide pendant 5 minutes	113°C
Bouilloire	Ustensiles au milieu de la plaque	69°C
Casserole		100°C
Casserole	(placée dans le coin inférieur gauche)	64°C
Casserole	(placée dans le coin supérieur droit)	150°C

Tableau 4.7 Tableau résumant les tests réalisés sur différentes situations d'eau bouillante. La dernière ligne concerne des tests où l'ustensile est vide.

la mesure est représentative de leur température. Ce n'est pas le cas pour la casserole, car elle est moins large que la plaque chauffante. Donc, selon sa position, il peut y avoir le rayonnement infra-rouge de la plaque entre le capteur et la casserole qui vient s'ajouter, ce qui fausse les mesures. Si la casserole est dans le coin inférieur gauche, il n'y a pas de rayonnement infra-rouge parasite. La mesure de température est cohérente (58°C). Dans les autres positions (coin supérieur droit et centre), le rayonnement infra-rouge de la plaque fait augmenter la température mesurée par le capteur. En conséquence, la mesure dépendra plus de la température de la plaque que de celle de l'ustensile. Le test de la casserole au centre sur une plaque préchauffée illustre bien ce point : la température ressentie à l'ébullition est de 111°C, soit 31°C de plus que si la plaque n'est pas préchauffée. Par contre, le champ de vision du capteur n'a aucune influence pour les ustensiles hauts : la température ressentie est la même que le capteur soit à 2 cm du plan de travail ou à 7 cm. La dernière ligne du tableau présente une série de tests correspondant à une situation dangereuse. Chaque ustensile a été laissé vide 5 minutes sur la plaque à thermostat 8. La casserole a été placée au milieu de la plaque, qui correspond au cas le plus courant en situation réelle. Ceci pour évaluer la faisabilité d'une prévention des brûlures par contact avec un ustensile. Il en ressort qu'au bout de 5 minutes, la température de la bouilloire est tout juste au-dessus de la plus haute température normale pour un ustensile, à savoir

celle d'une poêle contenant de l'eau bouillante (65°C). Quant à la casserole, les mesures oscillent entre 64°C et 150°C.

En résumé, la mesure de température des ustensiles est assez efficace si lesdits ustensiles sont aussi larges que la plaque de cuisson. Dès lors que ce n'est plus le cas, l'interprétation des mesures est très limitée : chaque température entre 20°C et 110°C peut correspondre à une situation tout à fait normale ou dangereuse. La seule chose certaine, c'est qu'une température mesurée au dessus de 150°C correspond à une situation dangereuse, dans tous les contextes.

Il ne faut pas oublier que le capteur de température MLX90614 peut aussi mesurer la température ambiante. Dans tous les tests effectués, elle a toujours varié entre 35°C et 40°C. Elle n'apporte aucune information nouvelle sur la situation courante. Donc, cette mesure gardera son travail initial : effectuer la compensation en température des autres capteurs.

L'importance de ces résultats sera expliquée dans la sous-section suivante (4.2.4).

#### **Détection d'événements dans la situation courante grâce aux capteurs de température MLX90614**

Les tests précédents montrent qu'il est envisageable de prévenir le danger de brûlures par contacts grâce à deux capteurs de température infra-rouge. En effet, il existe des seuils entre les situations normales et dangereuses. Pour ce faire, les considérations générales (4.2.3) ont été reprises. En effet, comme pour les éclaboussures, les températures dangereuses pour un objet sont rapidement atteintes en situations normales de cuisson. Le même système à 3 niveaux de dangers a été mis en place. La difficulté réside dans l'établissement des températures seuils. La frontière entre une température moyennement dangereuse et une très dangereuse n'est pas nette. L'analyse approfondie des situations de brûlures (section 3.3.1) a donné des seuils de températures dangereuses pour un contact. Ces seuils sont utilisables seulement si la marge d'erreur entre la température exacte de l'ustensile et la température mesurée est faible. Or, la section précédente a montré les réserves à poser sur les valeurs issues du capteur. Pour construire ces seuils, il faut donc se baser sur les valeurs rencontrées dans les situations de tests, résumées dans le tableau 4.7. Il est possible de faire correspondre aux situations dangereuses ou normales des plages de température. Mais les températures mesurées sont tellement dépendantes de la situation (taille, matériau, et po-

sition de l'ustensile) qu'il sera difficile de trouver un excellent compromis confort/sécurité. Le problème a été abordé de manière médiane : les valeurs seuils ne sont ni très fortes, ni très faibles. Il faut aussi se souvenir qu'il y a deux zones surveillées dans la chaîne : la plaque de cuisson via le capteur dans la hotte (émissivité constante), l'ustensile via le capteur du côté (émissivité variable). Les seuils ne seront pas les mêmes. Les choix de ces températures sont résumés dans le tableau 4.8.

Niveau de danger 0	Inférieure à 75°C	Inférieure à 45°C
Niveau de danger 1	Entre 75°C et 130°C	Entre 45°C et 80°C
Niveau de danger 2	Supérieure à 130°C	Supérieure à 80°C

Tableau 4.8 *Tableau résumant les valeurs seuils des différents niveau de danger pour les brûlures par contact.*

La prévention des brûlures par contact se fait donc comme l'algorithme 3.

---

**Algorithm 3** Algorithme de prévention des brûlures par contacts.

---

```

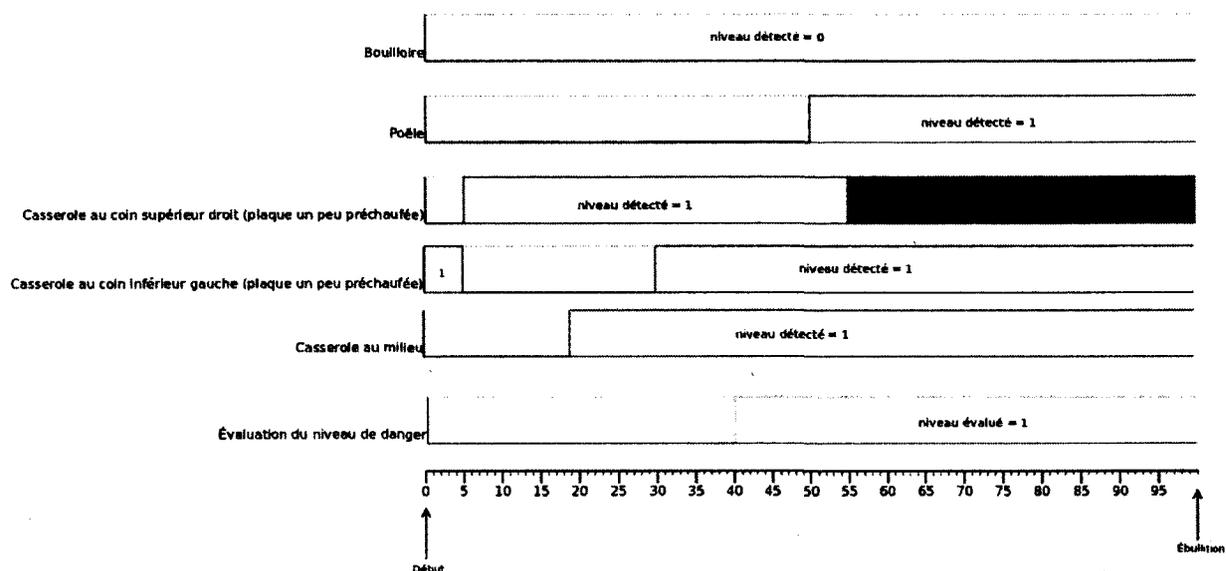
contactBurningDanger = 0
if (isObjectOnTheHotplate) then
  if (ustensilTemperature ≤ 80 && ustensilTemperature ≥ 45) then
    contactBurningDanger = 1
  else if (ustensilTemperature ≥ 80) then
    contactBurningDanger = 2
  end if
else
  if (hotplateTemperature ≤ 85 && hotplateTemperature ≥ 130) then
    contactBurningDanger = 1
  else if (ustensilTemperature ≥ 130) then
    contactBurningDanger = 2
  end if
end if

```

---

Comme pour l'hygromètre (sous-section 4.2.3), la détection de présence d'objet a été simulée dans un premier temps, pour se protéger d'éventuelles valeurs aberrantes du télémètre. Cela permet de ne tester que l'algorithme de prévention des brûlures. Pour ce faire, des expériences similaires aux tests unitaires ont été menées. Ici, de l'eau a été amenée à ébullition dans différents ustensiles, placés à différents endroits sur la plaque chauffante. Pour tester les cas anormaux, la casserole et la poêle ont été mises à chauffer

à vide. Le but est, d'une part, de regarder l'évolution du niveau de danger dans différents cas normaux ou limites. Pour les cas dangereux, l'attention s'est portée sur le temps de détection. L'évaluation des performances du système s'est fait comme pour l'hygromètre (voir tableau 4.4) : un volontaire qui touchait les ustensiles. Les résultats pour les cas normaux et limites sont résumés par la figure 4.14(a), par le tableau 4.14(b) pour les cas anormaux.



(a) Diagramme résumant l'évolution du niveau de danger pour des situations normales (eau en train de bouillir).

Poêle	Centre de la plaque	120 secondes	149 secondes
Casserole	Centre de la plaque	286 secondes	286 secondes

(b) Tableau résumant le temps de détection des situations dangereuses (ustensile à vide).

Figure 4.14 *Résumé des résultats obtenus dans le cadre de la prévention des brûlures par contact.*

Les résultats sont conformes à ce qui était attendu. Les niveaux de danger ne sont guère adaptés à la bouilloire. Pour les cas normaux, les performances semblent bonnes pour la poêle et la casserole, sauf quand celle-ci est dans le coin supérieur droit. Les mêmes remarques s'appliquent aux cas dangereux. En résumé, ce système de prévention des brûlures par contact via des règles dépend des habitudes de l'utilisateur. Si la personne reste dans les cas idéaux (taille de l'ustensile adaptée à la taille de plaque, par exemple), la prévention sera efficace, que ce soit pour les situations normales ou dangereuses. En revanche,

dès que l'on rentre dans les cas non idéaux, les fausses alarmes et les mauvaises détections augmentent.

D'une manière plus générale, cette section contribue à l'un des objectifs principaux du projet InOvUS (**prise de décision sur la dangerosité de la situation**). Grâce à 2 capteurs de température, le danger de brûlures par contacts peut être prévenu. Ces bons résultats valident incidemment l'approche de travail choisie pour sélectionner les capteurs.

#### **4.2.5 Tests unitaires sur les capteurs de gaz**

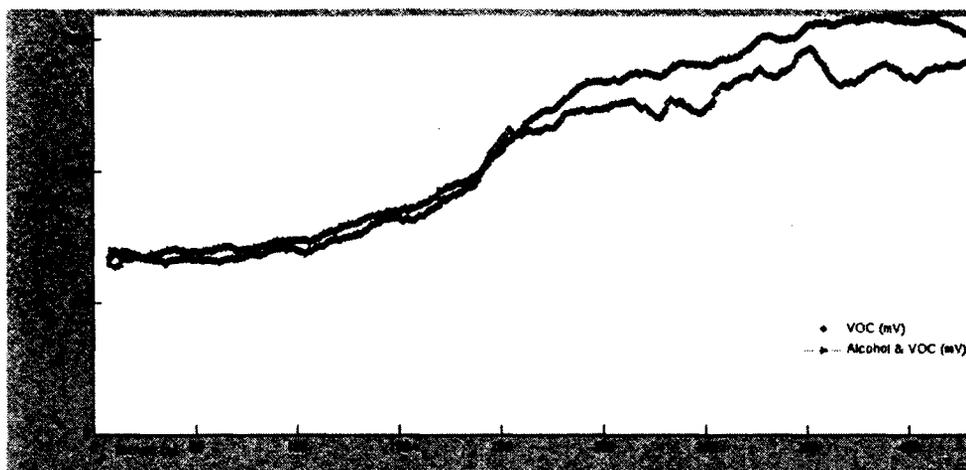
Les tests ont été réunis pour ces capteurs, car ils sont issus d'expériences similaires, à savoir la cuisson normale d'aliments divers : poisson, viande, oignons, poivrons, pâtes. Un test a aussi été fait pour le cas de l'huile sur le feu : 50ml d'huile de canola dans une poêle pendant 8 minutes. Pour ce cas, l'huile a été chauffée jusqu'au frémissement. Passé ce point, la sécurité de l'environnement n'est plus assurée. Ce cas est d'importance, car il constitue le seul cas testable à notre niveau d'infrastructure où il y a un danger réel d'incendie. Ce sera la seule base de connaissance disponible sur les situations dangereuses. Ces expériences ont pour but d'acquérir des connaissances sur les concentrations en gaz pour la cuisson d'un large éventail d'aliments, mais aussi pour un cas typiquement dangereux. Il convient cependant de garder à l'esprit le nombre limité des situations de test. Elles ne peuvent représenter efficacement l'ensemble des comportements possibles : par exemple, seules des cuissons idéales ont été testées. Les cas où l'utilisateur oublie son plat pendant plusieurs minutes sur le feu n'ont pas été réalisés. Il faut donc garder ce point en tête à la lecture des conclusions sur les différents capteurs de gaz.

Les capteurs de gaz sont à leur place dans la hotte (démontré à la section 4.1.1). En effet, les fumées dégagées pendant la cuisson vont toujours vers le haut. Cette section présente les expérimentations effectuées en accord avec les trois objectifs présentés en début de chapitre. La sous-section 4.2.5 concerne les capteurs de VOC et d'alcools. La sous-section 4.2.5 concerne le capteur de CO.

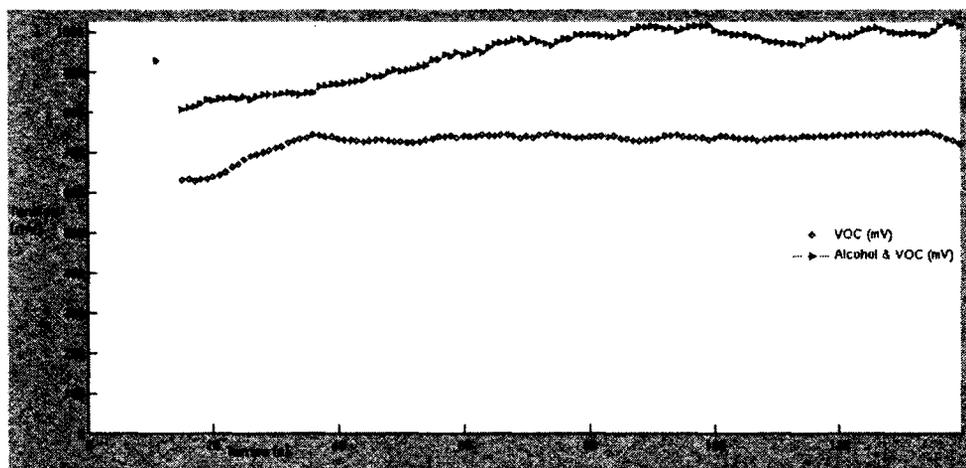
#### **Tests unitaires sur les capteurs d'alcools (TGS2620) et VOC (MICS5521)**

La raison pour laquelle les résultats des tests de ces 2 capteurs ont été réunis sera abordée dans les paragraphes suivants. Il a été choisi de ne pas les calibrer, ni de faire une compensation en température ou en humidité. Ce choix a été expliqué au 3e paragraphe de la sous-section 3.4. Les tests montreront si ces grandeurs physiques ont une influence.

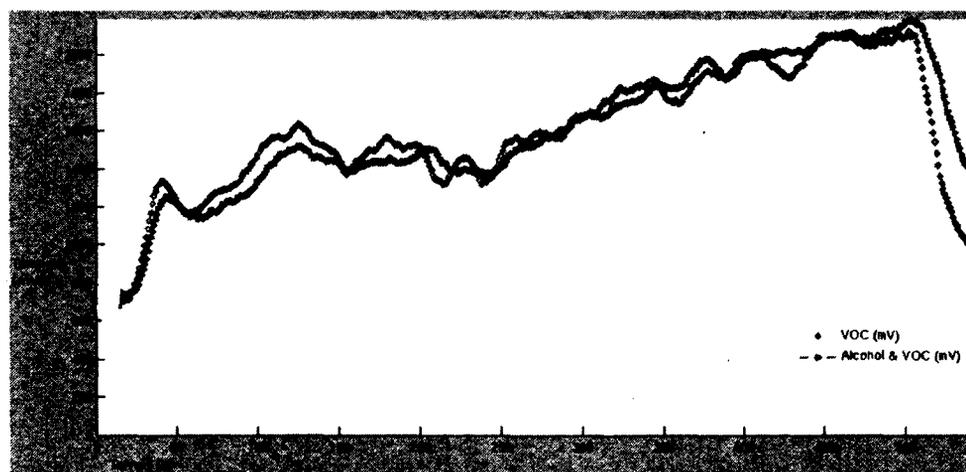
La première remarque à faire est sur le comportement de ces deux capteurs en situation de cuisson. En effet, les capteurs d'alcools TGS2620 et de VOC MICS5521 réagissent de manière similaire. Les figures 4.15(a) et 4.15(b) illustrent ce point sur deux situations différentes : la cuisson d'une saucisse et de deux filets de poisson avec des poivrons. Sur ces deux figures, on peut aussi remarquer que la cuisson d'un poisson dégage beaucoup moins de gaz que la viande rouge. D'ailleurs, comparée aux autres expériences faites (cuisson d'oignons et de pâtes), la concentration en gaz dans le cas de viande est toujours plus élevée. Ceci peut s'expliquer par le fait qu'une viande rouge contient plus d'acide gras qu'un poisson, qui engendre un plus fort dégagement de fumée [34]. La figure 4.15(c) montre le comportement des capteurs en présence d'une huile qui chauffe. Comme expliqué en introduction de cette section, ce cas constitue la seule connaissance sur les situations dangereuses à disposition. Il donne une information intéressante : la tension de sortie des capteurs de gaz est largement supérieure dans ce cas (2186 mV) que pour les autres situations de cuisine (1585 mV au maximum pour la cuisson de viande rouge). Ces résultats sont cohérents avec ce qui était attendu : l'huile étant en majorité composée d'acide gras, le dégagement de fumée est très important. Ceci montre aussi que les capteurs permettent de discriminer les cas à risque des situations normales. L'écart de 600 mV sur les tensions de sortie est suffisant pour tracer une frontière.



(a) Cuisson d'une saucisse dans une poêle.



(b) Cuisson de 2 filets de poisson avec des poivrons dans une poêle. Les mesures ont été prises au milieu de la cuisson.



(c) 50ml d'huile dans une poêle pendant 8 minutes.

Figure 4.15 Figures illustrant les réponses des capteurs de gaz TGS2620 (courbe vert foncé) et MICS5521 (courbe vert clair) à différentes situations de cuisson.

Le dernier objectif était de déterminer l'influence de l'humidité et de la température ambiante sur la réponse des capteurs. Les expériences sur l'eau bouillante ont permis de remarquer que, pour une augmentation de 20%, il y avait un décalage de 50 mV sur la tension de sortie du capteur de VOC MICS5521, et de 200mV pour le capteur d'alcools TGS2620. Quant à la température ambiante, elle introduit un décalage d'environ 50 mV par degré Celsius sur la tension de sortie des deux capteurs. Mais ce sont des valeurs pour des concentrations en gaz nulles. Il n'est pas garanti que ces décalages seront les mêmes en présence de gaz. De plus, selon les tests réalisés sur l'hygromètre en 4.2.3, la cuisson d'aliments ne provoque pas d'augmentation significative du taux d'humidité. Ce sont les variations de la température ambiante qui peuvent poser problème. Comme expliqué dans la partie 4.2.4 relative aux tests sur le capteur de température MLX90614, la température ambiante varie entre 35°C et 40°C. Donc, il y a un décalage de 300mV possible sur les mesures des deux capteurs de gaz. Mais même avec ce décalage potentiel, la tension de sortie maximum pour les situations normales reste très inférieure à celle correspondant aux situations dangereuses. La discrimination entre les situations normales et dangereuses reste possible, même en négligeant l'influence de la température et de l'humidité. Ces constatations sont résumées dans la figure 4.16.

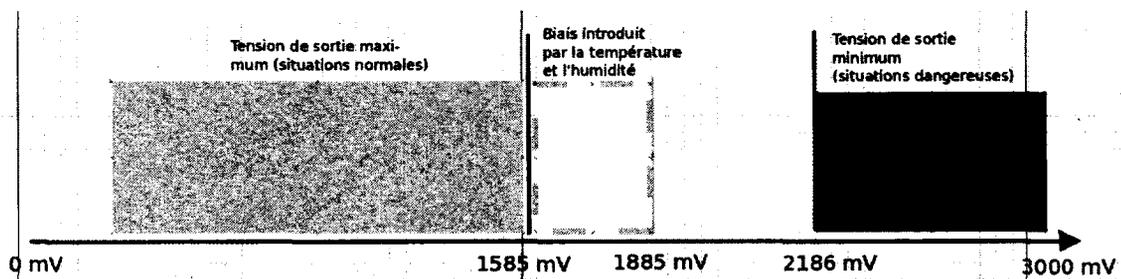


Figure 4.16 *Figure résumant l'espace, sur la tension de sortie des capteurs TGS2620 et MICS5521, entre les situations de cuisson normales et dangereuses*

En résumé, ces deux capteurs de gaz semblent bien choisis. Ils apportent des informations pertinentes sur l'état d'une cuisson. On peut même dire qu'ils permettent de discriminer les situations dangereuses des situations normales. Les tests précédents ont aussi montré que le capteur de VOC MICS5521 et d'alcools TGS2620 apportent les mêmes informations l'un et l'autre. Jusqu'à preuve du contraire, il n'est donc pas pertinent de les utiliser tous les deux. La section 4.3 présentera comment ces conclusions ont été utilisées pour prévenir le danger d'incendies.

**Tests unitaires sur le capteur de monoxyde de carbone TGS5042**

Comme expliqué dans la sous-section 3.4, le fabricant fournit les schémas d'interfaçage, courbe d'étalonnage et compensation en température. La concentration en CO est accessible au ppm près. Cela peut permettre de s'affranchir l'étape de calibration avec un gaz aussi dangereux que le CO. Mais il faut pour cela se fier totalement aux données du fabricant.

Que ce soit sur les différentes situations de cuisson testées ou le cas de l'huile, la concentration de CO n'a jamais été significative. La figure 4.17 illustre ce point : ces mesures ont été faites à la fin de l'expérience, quand la concentration en gaz devrait être la plus forte. Mais pour le CO, elle reste autour 40 ppm. La conclusion est que le CO n'est pas un bon marqueur pour faire la prévention des incendies. Il sera utilisé seulement pour prévenir l'intoxication [14].

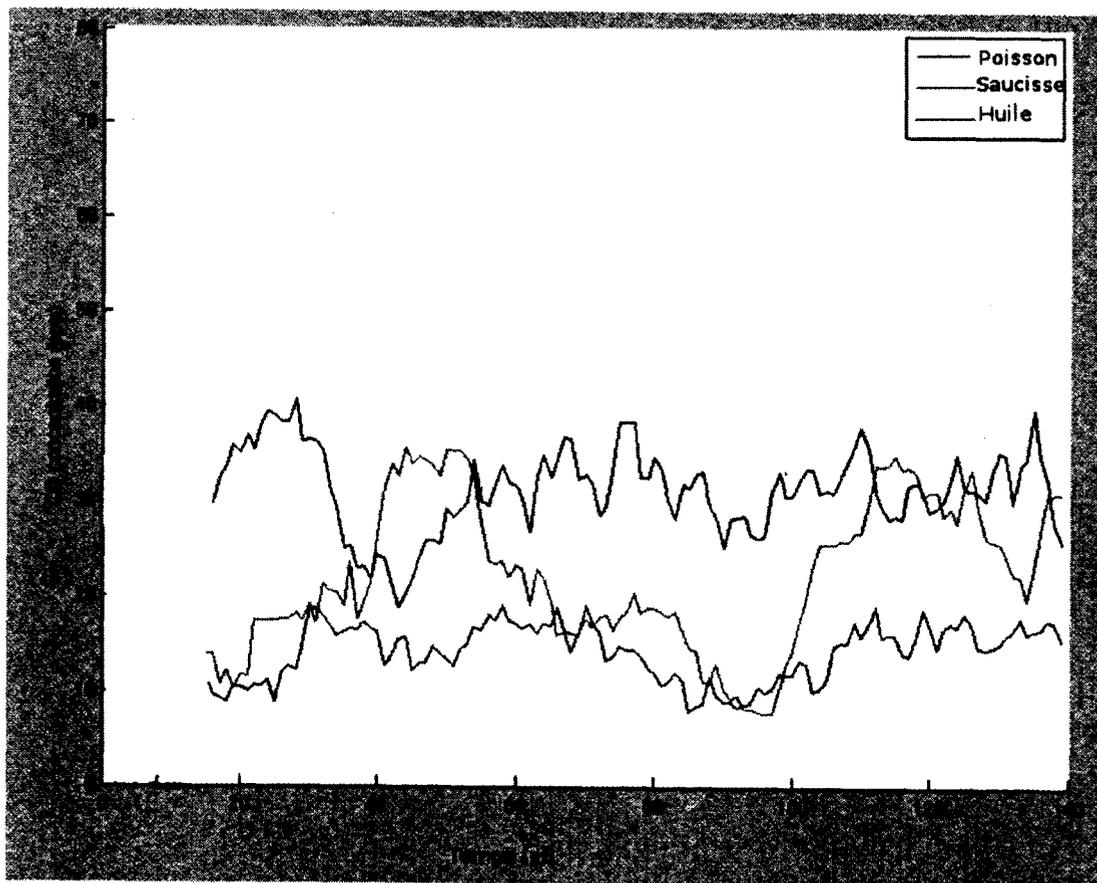


Figure 4.17 Concentration en CO durant différentes situations de cuisson. Mesures prises à la fin de ces situations.

### 4.2.6 Résumé

Ce chapitre a présenté l'ensemble des tests unitaires réalisés sur chaque capteur choisi pour le projet InOvUS. De grandes quantités d'informations ont été récoltées.

Premièrement, la position idéale de chaque capteur a été déterminée. Ces dispositions sont illustrées par les figures 4.18(a) et 4.18(b). La remarque évidente est que l'objectif d'intégration facile et non intrusive n'est pas atteint, à cause des capteurs placés sur le côté.

Ensuite, étant donné que les tests ont été pensés pour éprouver les limites des capteurs, un certain nombre de facteurs limitants sont apparus. Ce sont par exemple des caractéristiques de l'environnement ou des cas d'utilisation limite qui dégradent notablement la qualité de l'information renvoyée par certains capteurs. L'identification de ces facteurs et leur influence présente de grands intérêts. Cela permet, au choix, d'infirmier le choix de capteurs, de montrer leurs limites, ou d'entrevoir des pistes pour compenser. Par exemple, les 2 capteurs touchés par des facteurs limitants sont le télémètre et le capteur de température infra-rouge, ceux-là même placés sur le côté. Le télémètre est affecté par la température de l'air ambiant, le capteur de température par le matériau de l'ustensile. À cause de ces 2 facteurs, un grand nombre de situations provoquent une disparité dans les mesures. Les performances du système de prévention des brûlures s'en retrouvent diminuées. À terme, il semblerait donc que ce type de capteurs ne soit pas adapté au projet InOvUS.

Grâce au travail fait en amont, il a été possible de détecter des événements de plus ou moins haut niveau sur la situation courante. En voici un résumé :

- Détection d'objet sur la plaque de cuisson
- Prévention des brûlures par éclaboussures
- Prévention des brûlures par contact

Les performances de ces trois systèmes ont déjà été exposées. Le fait est que la méthodologie de test évoquée plus haut a permis le développement d'algorithmes simples qui donnent des résultats substantiels, à partir de capteurs somme toute basiques. Ce chapitre permet donc de valider, en partie, la méthodologie de travail générale en trois étapes. La phase de tests a mis en avant les limitations des capteurs en situation. Mais l'analyse de ces données de tests a permis de contourner ces limitations. Ce chapitre valide aussi l'orientation donnée à cette partie. Les situations expérimentées avaient été choisies pour représenter au mieux les phases de cuisine réelle, et deux dangers ont réussi à être prévenus grâce à cette méthode. Incidemment, tous ces résultats montrent l'utilité et le bon fonctionnement

de la chaîne d'acquisition développée. La cuisinière est surveillée efficacement par une série de capteurs, ce qui est novateur selon la littérature.

La conclusion de ce chapitre est que le développement du projet InOvUS doit passer par des tests sur les situations de cuisine. Les détections d'événements présentées s'appuient entièrement sur les informations glanées lors des tests unitaires des capteurs. Avec une base d'informations plus étendue, des systèmes plus fins peuvent s'envisager. C'est pourquoi l'orientation donnée aux tests des capteurs dans ce projet InOvUS est une bonne base de travail.

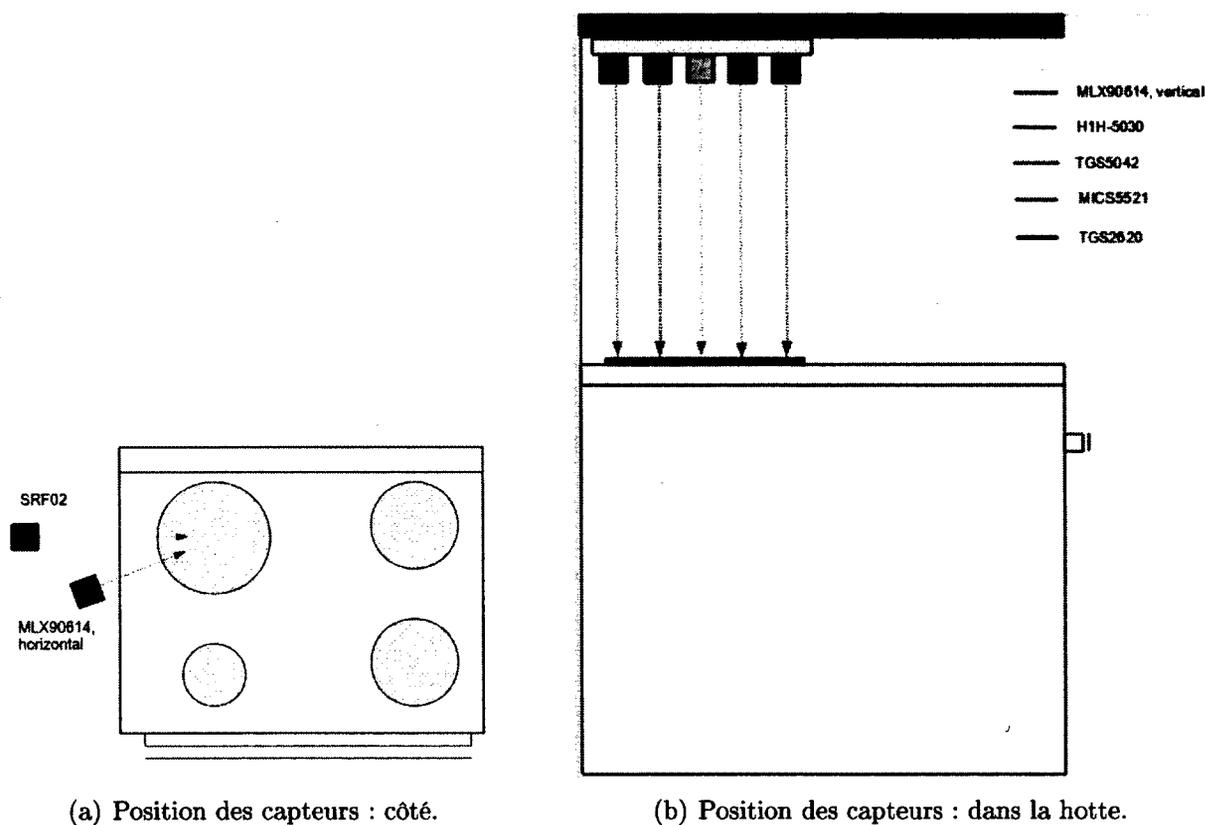


Figure 4.18 *Position de l'ensemble des capteurs dans l'environnement de la cuisinière.*

### 4.3 Prévention des dangers : algorithmes, tests, résultats

Cette section présente comment les informations collectées dans le chapitre 4.2 peuvent servir un objectif de plus haut niveau : la prévention des dangers en général. Cela permettra, en aval, d'avoir une intervention adaptée. Cette section est la 3<sup>e</sup> étape de la

méthodologie générale. Les résultats obtenus doivent permettre de valider complètement cette méthodologie. Ces travaux contribuent aussi à l'un des objectifs principaux du projet InOvUS (**prise de décision sur la dangerosité de la situation**). La sous-section 4.3.1 présente les algorithmes mis en place pour prévenir les 3 dangers. La sous-section 4.3.2 présente les méthodes de tests et les résultats associés.

### 4.3.1 Algorithme de prévention

Les détections d'événement et les informations sur les capteurs de gaz ont simplifié à l'extrême le développement de cette partie. Pour la prévention des incendies (algorithme 4), cela se résume à comparer la mesure des capteurs de VOC (MICS5521) et d'alcools (TGS2620) à un seuil. Ces seuils ont été fixés en accord avec les résultats des tests unitaires. Pour la prévention des intoxications au monoxyde de carbone (algorithme 5), il s'agit là aussi de comparer la concentration avec une valeur seuil. Ce seuil a été trouvé grâce à l'analyse des situations dangereuses, faite à la section 3.2.2. À ce sujet, il ne semble pas judicieux de ne garder qu'un indice de danger général. En effet, il va être difficile de déterminer que tel gaz est plus dangereux qu'un autre. La meilleure solution consiste à prévenir l'intoxication pour un gaz donné. C'est pourquoi on se réfère au risque d'intoxication au monoxyde de carbone.

---

#### Algorithm 4 Algorithme de prévention des incendies.

---

```

fireDanger = 0
if ((tgs2620AlcoholValue ≥ 1800mV) || (mics5521VOCValue ≥ 1800mV) then
    fireDanger = 1;
end if

```

---



---

#### Algorithm 5 Algorithme de prévention des intoxications par le monoxyde de carbone.

---

```

COdanger = 0
if (tgs5042COValue ≥ 900ppm) then
    COdanger = 1;
end if

```

---

Pour la prévention des brûlures, les indices des dangers de brûlures par contact et par éclaboussures ont été fusionnés pour donner un indice général sur 3 niveaux. Comme expliqué dans les sous-sections 4.2.3 et 4.2.4 sur les tests unitaires de l'hygromètre et du capteur de température, l'intérêt d'un indice sur 3 niveaux réside dans la possibilité offerte de plusieurs degrés d'interventions. Le calcul logique effectué pour estimer le niveau de danger de brûlures est donné par le tableau 4.9.

niveau 0	niveau 0	niveau 0
niveau 0	niveau 1	niveau 1
niveau 1	niveau 0	niveau 1
niveau 1	niveau 1	niveau 1
niveau 2	niveau 0	niveau 2
niveau 2	niveau 1	niveau 2
niveau 2	niveau 2	niveau 2
niveau 0	niveau 2	niveau 2
niveau 1	niveau 2	niveau 2

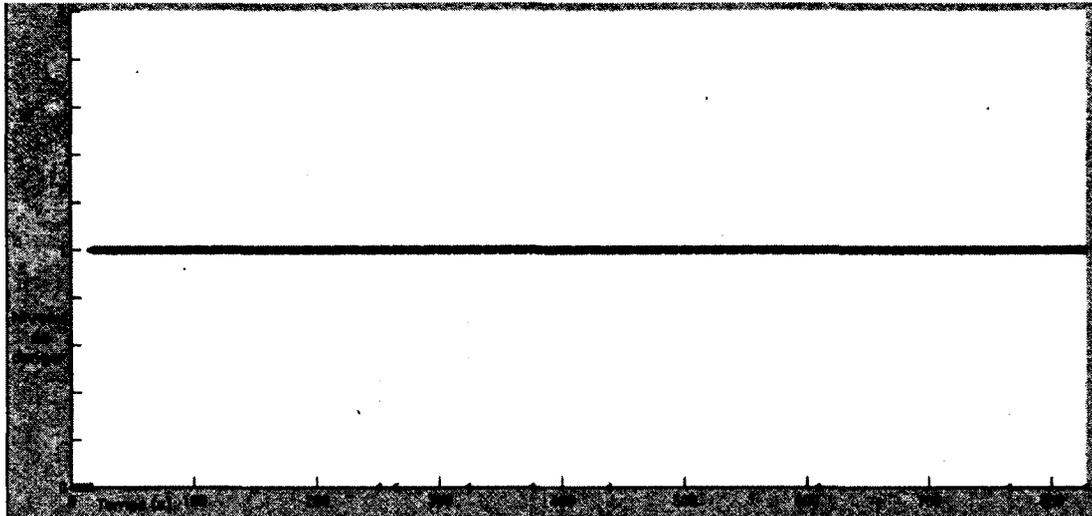
Tableau 4.9 *Table de vérité pour calculer le niveau global de danger de brûlure.*

### 4.3.2 Tests et résultats

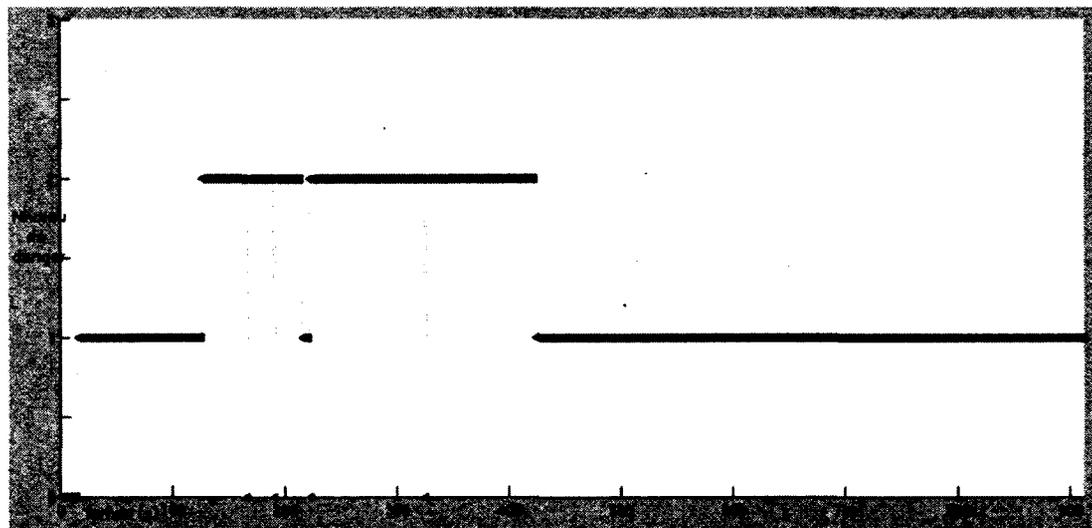
Comme il est question de tester le système de prévention en entier, l'esprit n'est plus le même que dans le chapitre précédent concernant les tests unitaires. Les situations doivent être de vraies situations de cuisine : l'utilisateur prépare ses plats sans se préoccuper de la chaîne d'acquisition. L'analyse des résultats ne porte plus sur les valeurs des capteurs, elle se fait sur les valeurs des niveaux de danger calculées. Pour ce faire, un volontaire a préparé de 2 plats : des pâtes, 2 morceaux de viande hachée. Cela implique l'utilisation de la casserole et de la poêle, le dégagement de vapeur d'eau et le dégagement de fumée. La totalité des capteurs sera mise à contribution. À noter que l'eau pour les pâtes a été chauffée avec la casserole recouverte.

Il s'avère qu'il n'y a jamais eu de danger d'intoxication au monoxyde de carbone, ni de danger d'incendie. Concernant les brûlures, les résultats sont illustrés par les figures 4.19(a) et 4.19(b). Il y a eu un niveau de danger élevé durant la cuisson de la viande, alors que la situation était maîtrisée. On trouve l'explication dans le déroulement de la situation. La poêle a été préchauffée dans un premier temps, et il s'avère que la température de l'ustensile a dépassé les 80°C. L'utilisateur n'a pas posé la main dessus pour vérifier que le niveau de danger était réel. Par la suite, la viande a été mise à cuire, ce qui a doucement fait descendre la température de la poêle en dessous de 80°C. Sur les deux situations, le niveau de danger repasse quelquefois à 0 brièvement. Cela correspond soit à un déplacement bref de l'ustensile qui sort par conséquent de la plaque, soit à des mesures de distances aberrantes du télémètre. On retrouve donc bien les facteurs limitant le fonctionnement du capteur de présence SRF02. Pour la cuisson des pâtes, le niveau de danger est égal à 0 durant quasiment toute la préparation, ce qui est conforme avec ce qui était attendu. En

effet, la présence d'eau bouillante est en soit dangereuse, mais correspond à une situation de cuisson normale. Le danger est donc moyen.



(a) Évolution du danger général de brûlure dans le cas de la cuisson de pâtes.



(b) Évolution du danger général de brûlure dans le cas de la cuisson de deux morceaux de viande hâchée.

Figure 4.19 *Évolution du danger général de brûlure dans deux cas de cuisson normales.*

## 4.4 Résumé

La conclusion générale est que le système est prometteur. Les 2 cas de tests ont mis en exergue les limites de prévention des brûlures, principalement les règles régissant les niveaux de danger qui ne sont pas adaptées à tous les ustensiles. Néanmoins, le fait même

d'être capable de prévenir les brûlures est une bonne contribution. La revue de littérature a mis en avant le manque à ce sujet. Concernant les incendies, toute cette étude a montré qu'il était possible de prévenir ce danger avec les capteurs de gaz choisis, et ceci sans les étalonner. C'est un point intéressant quant aux possibilités que cela ouvre : pas besoin de trouver une source de gaz contrôlée, ni de s'adresser à un professionnel pour réaliser cette opération. Quant aux intoxications, il a été montré qu'il valait mieux adresser chaque gaz au cas par cas. Pour peu que le capteur du gaz en question soit étalonné, la prévention est possible et simple grâce aux données trouvées dans l'analyse des situations dangereuses.

L'autre conclusion générale, qui s'applique à tout le projet InOvUS, est l'emphase sur l'importance des données de tests. Que ce soit avec un algorithme simple à base de règles ou de techniques plus complexes, les performances du système dépendent grandement des tests réalisés en amont. Les tests unitaires réalisés sur chaque capteur sont assez conséquents, mais les situations de tests et de validation envisagées peuvent être augmentées. Il resterait de nombreux paramètres à faire varier, par exemple le thermostat, la ventilation ou le type d'aliments.

Enfin, ce chapitre permet de valider tout ce qui a été développé durant le projet InOvUS. La chaîne d'acquisition remplit parfaitement son rôle, ce qui en fait une des seules connues à pouvoir surveiller la cuisinière. La méthodologie de travail en 3 étapes, élaborée au début du projet, a permis d'obtenir des résultats substantiels pour la sécurité de la cuisinière. Ce qui fait d'InOvUS le seul projet connu qui sécurise la cuisinière contre certains dangers potentiels.

# CHAPITRE 5

## CONCLUSION

### 5.1 Résumé des travaux effectués

La présente recherche propose une solution de prévention de certains dangers liés à l'utilisation de la cuisinière, à savoir les incendies, les intoxications et les brûlures. L'approche du projet est classique selon la littérature : plusieurs capteurs donnant des informations sur l'environnement à une entité informatique plus puissante qui prendra les décisions.

Les capteurs ont été choisis dans l'optique de prévenir la plupart dangers : deux capteurs de gaz contre les incendies, un capteur de monoxyde de carbone contre les intoxications à ce gaz qui sont trop fréquentes, un capteur de température infra-rouge, un télémètre à ultra-son, un hygromètre. Ces capteurs sont sans-contact. Ils sont destinés à être installés à distance des plans de travail. En plus de répondre à l'objectif initial quant aux choix des informations à surveiller, ils sont aussi adaptés à une intégration facile dans l'environnement, un autre objectif du projet.

Une chaîne d'acquisition a été développée pour exploiter les capteurs. L'installation matérielle a d'ailleurs été réalisée avec ce double objectif d'intégration facile en vue. Les capteurs peuvent tous être branchés sur la même carte, qui ne fait que 12 cm par 10 cm. Pour peu qu'ils puissent fonctionner correctement les uns à proximité des autres, ils sont intégrables facilement grâce à cette carte. Il a aussi été prévu des emplacements supplémentaires pour d'éventuels nouveaux capteurs, sous condition qu'ils fonctionnent avec l'une des tensions fournies. Cette fonctionnalité a été testée de manière très concluante. Ils sont alimentés par une autre petite carte, qui se charge de fournir, via un câble plat de 1 mètre de long, les différentes tensions nécessaires à partir de la tension secteur. Ce type de câble à l'avantage d'être facilement dissimulable. La longueur permet de disposer la deuxième carte là où elle ne gênera pas. Le reste de la chaîne est constituée du micro-contrôleur, une carte de développement de chez Texas Instruments, qui numérise les données. La chaîne d'acquisition les envoie à un ordinateur portable via le port série, et elles sont récupérées par un programme Matlab qui les affiche et prends les décisions en temps réel.

Grâce à cette chaîne d'acquisition, il a été possible de tester les capteurs en situation réelle de manière intensive. L'interface Matlab permet de visualiser les courbes des données en

temps réel, mais aussi à partir de fichiers d'historique. La conséquence générale est que la constitution d'une base de connaissances sur les situations de cuisine est possible. Un petit échantillon a déjà été réalisé. Il en est ressorti que les capteurs de gaz réagissent aux situations de cuisson, et semblent réagir de manière différente aux situations dangereuses du point de vue des incendies. On peut y voir là la confirmation de leur utilité future. De plus, les limites des autres capteurs (hygromètre, température et télémètre) sont aussi connues. Sans les exclure définitivement, cela permet d'avoir des critères de choix pour d'éventuels remplaçants, ou des pistes de compensation algorithmique possible. Mais malgré leurs limites, ils ont permis d'acquérir des connaissances concernant les situations de brûlures.

Ce sont grâce à ces connaissances que des algorithmes simples de préventions ont été mis en place. Si leurs performances ne sont pas idéales, ils constituent une bonne base de travail, car ils valident la preuve de concept (prévention temps réel effectuée) et montrent l'orientation à suivre. La conception de solutions de préventions doit avant tout se baser sur un maximum de situations de tests, avec autant de cas normaux que de cas limites ou non-idéaux. Partant du constat simple que, quand on s'adresse à un public large, les situations de cuisine sont diverses, ces tests ont été pensés pour éprouver les limitations de l'usage des capteurs. Ils constituent de très bons exemples pour d'éventuels successeurs.

## 5.2 Contributions originales

Le concept du projet InOvUS et les résultats obtenus sont originaux. En effet, il n'existe pas à ce jour, selon la revue de littérature, de solution qui protège l'utilisateur d'une cuisinière des incendies, des brûlures et des intoxications. Beaucoup de projets se concentrent sur les incendies, et beaucoup ont travaillé sur des données statiques. Le fait même que des résultats substantiels ont été obtenus sur la prévention de ces 3 dangers à la fois en temps réel est une contribution.

Les capteurs ont été choisis selon une méthode d'analyse en profondeur des situations dangereuses : évolution de grandeurs physiques (température ambiante et taux d'humidité), chimiques (quantité de fumée et concentration en gaz). L'ensemble de cette étude a permis d'accumuler des connaissances précises sur les phénomènes physiques et chimiques mis en jeu lors des cuissons d'aliments. Elles vont être très utiles pour prévenir les dangers de manière efficace. Cette étude est aussi une base solide pour justifier a priori les choix des capteurs.

Les tests réalisés étaient orientés d'une manière spécifique, pour satisfaire les exigences grand public d'un tel projet. Du choix des ustensiles jusqu'aux situations imaginées, tout a été choisi pour ne pas se focaliser que sur les cas idéaux, dans lesquels les performances des capteurs sont assurées. De cette manière, le système pourra être adapté à un large public, et non seulement aux personnes âgées. Cette logique a d'une part mis en exergue certaines limites de l'utilisation des capteurs, mais surtout de constituer une base de connaissances sur les situations de cuisine. Cette base s'avère nécessaire quant à l'élaboration des prises de décision. Mais il a aussi été montré dans l'état de l'art qu'il n'était pas forcément nécessaire d'avoir des données de tests sur les situations à risque. Des techniques qui permettent de s'en affranchir existent. Il est intéressant d'avoir effectué cette étude, car cela permettra de créer des solutions sans partir à la recherche d'un environnement sécurisé pour tester les cas à risque.

Enfin, il existe maintenant une chaîne d'acquisition fonctionnelle au laboratoire DOMUS, qui permet de réaliser ses propres expérimentations. Elle est relativement facile à déployer et parfaitement réutilisable, pour peu de disposer d'un peu de place sur le plan de travail pour installer un ordinateur portable. L'interface Matlab a été pensée pour l'acquisition de données : affichage temps réel, sauvegardes des données dans un fichier d'historique.

### 5.3 Travaux futurs

Le travail effectué a permis d'identifier des technologies de capteurs adaptés au projet InOvUS, de par leur simplicité, les grandeurs auxquelles ils sont sensible ou leur flexibilité au niveau de l'installation. La deuxième phase du projet InOvUS concernera plusieurs points. En premier lieu, l'intégration du système doit être améliorée. Les cartes réalisées pour le projet ont été pensées en ce sens, mais l'ensemble se heurte à des limites. En effet, l'intégration du reste de la chaîne est limitée par le fait que ce n'est pas du matériel spécifiquement fait pour le projet. Le micro-contrôleur est une carte de développement de chez Texas Instruments. Elle est placée à côté de la "carte alimentation", ce qui augmente l'encombrement. L'entité informatique qui prend les décisions est un ordinateur portable. Il prend à lui seul l'espace entier d'un plan de travail. L'intégration des capteurs n'est pas parfaite non plus. En effet, dans l'état actuel, la carte qui les réunit est reliée en filaire au micro-contrôleur. Ce n'est pas une solution très sûre (perturbation des signaux, gêne potentielle pour l'utilisateur), mais a l'avantage de bien résister aux changements de conditions (températures, gaz, humidité, etc.). Une solution possible serait d'intégrer tout le matériel dans un seul module, mais l'intégrité du matériel entre en jeu. Car à part le sac plastique qui protège une des cartes de la condensation, cet aspect n'a pas du tout été

abordé. Les capteurs sont, pour l'instant, à la merci des éléments. Si des gaz nocifs à leur fonctionnement s'échappent, aucun n'est protégé.

De plus, en l'état, la chaîne pourrait être plus facile à installer. Il n'est pas question ici des différentes cartes, modules, ordinateur portable à transporter. Ces points-là ont été adressés précédemment et peuvent être résolus. L'aspect encombrant tient au fait qu'il y ait deux capteurs à installer sur le côté de la cuisinière. Dans l'optique d'une solution installable facilement, à tout le moins intégrable dans l'environnement, il n'est pas acceptable d'avoir des capteurs à des endroits aussi gênants. Comme en plus il a été montré qu'ils avaient des limites d'utilisation fortes, une solution serait des les remplacer. Dans le cadre de la prévention contre les brûlures, l'utilisation d'une caméra infra-rouge peut être intéressante. Elle possédera les mêmes limites que le capteur de température, mais pourrait être placée dans la hotte et renverrait une image au lieu d'une seule valeur. Une image donne plus de possibilités algorithmiques pour extraire des informations. Il serait possible de détecter qu'un objet est sur la plaque chauffante, et ainsi s'affranchir des 2 capteurs déportés.

Comme expliqué dans cette conclusion, ce projet se basera sur de nombreuses données de tests et de validations. En l'état, il n'y en a pas assez, notamment concernant l'influence de la ventilation, des lumières d'appoints, ou de l'activité sur les autres plaques chauffantes. En ce sens, un point n'a pas été considéré : la robustesse du système au changement d'utilisateur. Il serait intéressant de mener des tests sur ce sujet, cela permettrait sans doute d'identifier de nouvelles situations limites ou de nouveaux cas d'utilisation.

# LISTE DES RÉFÉRENCES

- [1] (2004). *Kitchen Fires* (Rapport technique). U.S. Fire Administration.
- [2] Ahrens, M. (2009). *Home Fires Involving Cooking Equipment* (Rapport technique). National Fire Protection Association.
- [3] Ahrens, M. (2010). *Home Structure Fires* (Rapport technique). National Fire Protection Association.
- [4] ANSES (2011). *Valeur limite d'exposition en milieu professionnel : le monoxyde de carbone* (Rapport technique).
- [5] association, A. (2009). 2009 alzheimer's disease facts and figures. *Alzheimer's and Dementia*, volume 5, numéro 3, p. 234 – 270.
- [6] Bashyal, S., Venayagamoorthy, G. et Paudel, B. (2008). Embedded neural network for fire classification using an array of gas sensors. Dans *Sensors Applications Symposium, 2008. SAS 2008. IEEE*. p. 146–148.
- [7] Charumporn, B., Yoshioka, M., Fujinaka, T. et Omatu, S. (2003). Early stage fire detection using reliable metal oxide gas sensors and artificial neural networks. Dans *Neural Networks, 2003. Proceedings of the International Joint Conference on*. volume 4. p. 3185–3188 vol.4.
- [8] Chen, S., Bao, H., Zeng, X. et Yang, Y. (2003). A fire detecting method based on multi-sensor data fusion. Dans *Systems, Man and Cybernetics, 2003. IEEE International Conference on*. volume 4. p. 3775–3780 vol.4.
- [9] Chou, J. (2004). Electrochemical sensors.
- [10] Dreiseitl, S., Osl, M., Scheibböck, C. et Binder, M. (2010). Outlier detection with One-Class SVMs : an application to melanoma prognosis. volume 2010, p. 172–176.
- [11] Ducré-Robitaille, J.-F. (2003). *La sécurité incendie au Québec* (Rapport technique). Direction du développement et du soutien en sécurité civile et en sécurité incendie.
- [12] Evans, A. P. G. J. (2008). Particle dose estimation from frying in residential settings. *Indoor Air*, volume 18, p. 499–510.
- [13] Fennema, O. (1996). *Food chemistry, Third Edition*.
- [14] Flynn, J. D. (2005). *Non-fire carbon monoxide incidents reported in 2005* (Rapport technique). National Fire Protection Association.
- [15] Gottuk, D. T., Peatross, M. J., Roby, R. J. et Beyler, C. L. (2002). Advanced fire detection using multi-signature alarm algorithms. *Fire Safety Journal*, volume 37, numéro 4, p. 381–394.
- [16] Hagen, B. C. et Milke, J. A. (2000). The use of gaseous fire signatures as a mean to detect fires. *Fire Safety Journal*, volume 34, numéro 1, p. 55–67.

- [17] Henriques, F. C. et Moritz, A. R. (1947). Studies of thermal injury. *The American Journal of Pathology*, volume 23, numéro 4, p. 530–549.
- [18] Jiang, S. Z. X. (2009). The effects of cooking oil fume condensates (COFCs) on the vegetative growth of salvinia natans (L.) all. *Journal of Hazardous Materials*, volume 172, p. 240–246.
- [19] Johnson, E. (1995). *Study of Technology for Detecting Pre-Ignition Conditions of Cooking-Related Fires Associated with Electric and Gas Ranges and Cooktops, Phase 1* (Rapport technique).
- [20] Johnson, E. (1995). *Study of Technology for Detecting Pre-Ignition Conditions of Cooking-Related Fires Associated with Electric and Gas Ranges and Cooktops, Phase 2* (Rapport technique).
- [21] Johnson, E. (1998). *Study of Technology for Detecting Pre-Ignition Conditions of Cooking-Related Fires Associated with Electric and Gas Ranges and Cooktops, Final Report* (Rapport technique).
- [22] Johnson, E. (1998). *Study of Technology for Detecting Pre-Ignition Conditions of Cooking-Related Fires Associated with Electric and Gas Ranges and Cooktops, Phase 3* (Rapport technique).
- [23] Lin, S. L. J. (2000). Aliphatic aldehydes produced by heating chinese cooking. *Environmental Contamination and Toxicology*, volume 64, p. 817–824.
- [24] Liu, Z., Kim, A. K., Carpenter, D., Kanabus-Kaminska, J. M. et Yen, P. (2004). Extinguishment of cooking oil fires by water mist fire suppression systems. *Fire Technology*, volume 40, numéro 4, p. 309–333.
- [25] Milke, J. A., Hulcher, M. E., Worrell, C. L., Gottuk, D. T. et Williams, F. W. (2003). Investigation of Multi-Sensor algorithms for fire detection. *Fire Technology*, volume 39, numéro 4, p. 363–382.
- [26] Milke, J. A. et McAvoy, T. J. (1995). Analysis of signature patterns for discriminating fire detection with multiple sensors. *Fire Technology*, volume 31, numéro 2, p. 120–136.
- [27] Moritz, A. R. et Henriques, F. C. (1947). Studies of thermal injury. *The American Journal of Pathology*, volume 23, numéro 5, p. 695–720.
- [28] NIOSH (1997). *Hazardous Gas Data (Pocket guide to chemical hazards)* (Rapport technique).
- [29] Pfister, G. (1997). Multisensor/Multicriteria fire detection : A new trend rapidly becomes state of the art. *Fire Technology*, volume 33, numéro 2, p. 115–139.
- [30] ressources, H. et skills development Canada (2009). Ionization and photoelectric smoke alarms.
- [31] Rogge, W. F., Hildemann, L. M., Mazurek, M. A., Cass, G. R. et Simoneit, B. R. T. (1991). Sources of fine organic aerosol. 1. charbroilers and meat cooking operations. *Environmental Science & Technology*, volume 25, numéro 6, p. 1112–1125.

- [32] Shahidi, F. (2005). *Bailey's Industrial Oil and Fat Products : Edible Oils - Edible Oil and Fat Products v. 2, Pt. 1*, 6<sup>e</sup> édition. Wiley-Blackwell.
- [33] Sureau, F. (2011). *Un système de composants distribué pour les réseaux de capteurs sans-fils*.
- [34] Svedahl, K. S. S. (2009). Short term exposure to cooking fumes and pulmonary function. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*.
- [35] Varghese, S. K., Gangamma, S., Patil, R. S. et Sethi, V. (2005). Particulate respiratory dose to indian women from domestic cooking. *Aerosol Science & Technology*, volume 39, numéro 12, p. 1201–1207.
- [36] Walstra, P. (2003). *Physical Chemistry of Foods*.
- [37] Wijayasinghe, M. S. et Makey, T. B. (1997). Cooking oil : A home fire hazard in alberta, canada. *Fire Technology*, volume 33, p. 140–166.
- [38] Wu, W. C. M. (2008). Enhanced sensitivity to DNA damage induced by cooking oil fumes in human OGG1Deficient cells. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, volume 49, p. 265–275.
- [39] Yin, J., Yang, Q. et Pan, J. (2008). Sensor-Based abnormal Human-Activity detection. *Knowledge and Data Engineering, IEEE Transactions on*, volume 20, numéro 8, p. 1082–1090.
- [40] Zhang, Y., Meratnia, N. et Havinga, P. (2010). Outlier detection techniques for wireless sensor networks : A survey. *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, volume 12, numéro 2, p. 159–170.
- [41] Zhao, Y., Hu, M., Slanina, S. et Zhang, Y. (2007). Chemical compositions of fine particulate organic matter emitted from chinese cooking. *Environmental Science & Technology*, volume 41, numéro 1, p. 99–105.

