



HAL
open science

Assistance à la découverte de connaissances contextuelles à partir de l'analyse des traces

Assitan Traoré, Alain Mille, Hélène Tattegrain

► To cite this version:

Assitan Traoré, Alain Mille, Hélène Tattegrain. Assistance à la découverte de connaissances contextuelles à partir de l'analyse des traces. 2015. hal-01152457

HAL Id: hal-01152457

<https://hal.science/hal-01152457>

Preprint submitted on 17 May 2015

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

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

Public Domain

Assistance à la découverte de connaissances contextuelles à partir de l'analyse des traces

Assitan Traoré^{1,2}, Alain Mille¹ et Hélène Tattegrain²

¹IFSTTAR, LESCOT

{assitan.traore, helene.tattegrain}@ifsttar.fr
<http://www.ifsttar.fr>

²Université Lyon 1, LIRIS, CNRS UMR 5205

{assitan.traore, alain.mille}@univ-lyon1.fr
<http://liris.cnrs.fr>

Résumé : L'observation d'une activité pour comprendre des comportements particuliers nécessite de discerner ce qui relève ou non du contexte. En intelligence artificielle la notion de contexte est une approche modale du raisonnement et plusieurs études ont été faites pour proposer des modèles génériques de représentation des connaissances *contextuelles*. La question de la découverte interactive des connaissances contextuelles et de leur inscription dans un modèle générique n'est toutefois que rarement examinée dans la littérature. Cette communication propose une approche exploitant le potentiel de la représentation de l'activité par ses traces modélisées d'interaction. Elle consiste à assister la découverte du contexte explicatif par une approche interactive associant l'analyse des données, les connaissances de l'analyste et leur mise en situation dans les traces modélisés. Cette approche interactive facilite l'élicitation de ce qui est contexte ou non. De plus, nous montrons qu'il est alors possible de représenter le contexte découvert sous une forme générique telle que proposée dans la littérature spécialisée. La méthode a été implémentée et a permis la découverte de contextes explicatifs pour la consommation en carburant lors de l'activité de conduite automobile. Les expérimentations, les données et les analyses ont été menées à l'IFSTTAR dans des conditions de conduite réelles.

Mots-clés : Découverte interactive de connaissances, contexte, traces modélisées, transport, consommation en carburant.

1 Introduction

La question de l'ingénierie des connaissances *contextuelles* se pose de manière particulièrement aiguë dans le cadre de l'analyse d'activités complexes comme les comportements de conduite automobile, se déroulant dans des environnements variés, avec de fortes dynamiques temporelles et spatiales. C'est en effet le *contexte* qui permet d'expliquer des différences importantes entre des comportements différents pour réaliser une activité similaire. Le cadre de l'analyse de l'activité de conduite pour comprendre les comportements de consommation de carburant a été utilisé pour étudier et proposer une méthode de découverte interactive de contexte à partir d'une analyse de l'activité tracée selon l'approche des *traces modélisées*. L'article précise tout d'abord le cadre applicatif du travail avant de réaliser l'état de l'art sur la notion de contexte, de sa modélisation et de sa découverte. L'approche est ensuite décrite avec ses différentes étapes de la préparation des données à la découverte des éléments de contexte « candidats ». Cette approche a été appliquée sur un jeu de données dans le domaine de la conduite automobile, et la première analyse menée avec l'aide de cette approche est décrite. Cette analyse démontre des résultats très encourageants, permettant de démontrer le potentiel de cette approche de découverte interactive d'éléments de contexte.

2 Cadre du travail de recherche

Ce travail est effectué en collaboration entre le LIRIS et l'IFTTAR dans le but d'étudier et d'expérimenter une méthodologie de découverte de connaissances contextuelles en l'appliquant à l'explication d'un critère de classification de segments temporels d'une activité.

2.1 Enjeux sociaux pour la recherche dans les transports

Le phénomène du réchauffement climatique est attribué, entre autres, aux gaz à effet de serres produits par les activités humaines l'industrie, le transport, le résidentiel-tertiaire et l'agriculture. L'un des objectifs principaux de l'IFSTTAR est d'étudier l'impact environnemental du transport. En effet, d'après des études environnementales, le transport est l'un des principaux responsables du réchauffement climatique [1]. Plusieurs études ont été menées pour remédier à ce problème environnemental. Elles ont permis de vulgariser le terme d'Eco-conduite et des systèmes d'assistance de conduite tels que : ISA, LAVIA [2].

Des études récentes sur les impacts des systèmes d'Eco-conduite et d'assistance à la conduite sur la consommation montrent que ces systèmes sont moins efficaces dès que la vitesse limite est supérieure à 80km/h (par exemple sur l'autoroute) et que les cours d'Eco-conduite ne réduisent la consommation que pendant une durée courte après l'apprentissage du conducteur [3]. D'autre part, cet impact environnemental est amplifié par l'augmentation constante du parc automobile, avec en France, 5% d'augmentation sur les 10 dernières années [4]. Il est donc nécessaire d'explorer d'autres pistes pour proposer des systèmes d'assistance capables de réduire la consommation de carburant de façon fiable et durable dans des contextes variés.

2.2 Présentation de la question de recherche

« Le contexte est toute information qui peut être utilisée pour caractériser la situation d'une entité. Une entité peut être une personne, un endroit ou un objet que l'on considère pertinent dans l'interaction entre un utilisateur et une application, y compris l'utilisateur et l'application eux-mêmes » Dev [5]. D'après cette définition de la notion de contexte par Dev, pour caractériser une activité, il faut tenir compte des informations relatives aux entités (les éléments en contexte) qui sont impliquées dans la réalisation de cette activité. Mais ces informations sont inconnues au début de l'activité et ne sont définies que pendant la réalisation de cette dernière. Par exemple, pour modéliser les comportements de conduite réduisant la consommation en carburant, il faut tenir compte des entités impliquées dans l'activité de conduite comme le véhicule, le conducteur et l'environnement de conduite et déterminer les valeurs prises par ces entités lorsque la consommation en carburant est faible ou forte pendant la conduite. Les informations prises en compte pour les entités de l'activité correspondent aux facteurs dont dépend la consommation en carburant comme le type du véhicule, l'état du véhicule, le mode de conduite du conducteur, l'infrastructure, le trafic. Ces facteurs décrivent les entités de l'activité de conduite et ils permettent d'avoir une définition précise de l'activité à un moment précis ou sur un segment temporel donné. Ils pourront être utilisés pour expliquer des comportements précis ou des phénomènes observés pendant l'activité. Les éléments contexte sont difficiles à définir en amont car ils sont dynamiques. Pour les définir nous proposons un processus de découverte à partir de l'analyse des traces utilisée par [6], [7] associée à des méthodes de fouille de données et à l'expertise de l'analyste

2.3 Présentation des données utilisées

Les données utilisées dans ce travail sont des données de conduite réelle collectées lors de l'activité de conduite de plusieurs participants pendant plusieurs mois. Ces données ont été recueillies en conduite *naturelle* avec des véhicules équipés de capteurs (bus CAN, de données du véhicule, radar, GPS et cameras) qui ont permis d'enregistrer :

- En instantané, les mesures dynamiques du véhicule comme la vitesse, l'accélération, le régime moteur, la consommation en carburant ainsi que les informations radar comme la position et la vitesse du véhicule précédant.
- En différé, les informations géographiques telles que les limitations de vitesse, le type de route etc.
- En instantané, les caméras filment les actions de conduite (enfoncement des pédales), l'environnement de conduite (scène avant) et le conducteur.

3 Etat de l'art de la notion de contexte et de l'ingénierie des connaissances contextuelles

Cet état de l'art se focalise sur trois sujets abordés dans ce travail qui sont : la notion de *contexte*, la découverte de *connaissances* et les connaissances *tracées*.

3.1 La notion de contexte en intelligence artificielle : une histoire ancienne qui pose la question d'une ingénierie spécifique des connaissances contextuelles

La notion de contexte a été étudiée très tôt en intelligence artificielle par un des pionniers, John Mc Carthy [8]: la relation de base est $ist(c,p)$ qui établit que la proposition p est vraie dans le *contexte* c . Ceci permet d'étendre ou de restreindre un raisonnement en fonction d'un contexte, qu'il faut alors établir. Le contexte porte un nom « c » et est défini en extension par les variables qui sont contenues dans les propositions valides dans ce contexte, c'est à dire qui permettent de produire une inférence valide dans ce contexte. La liste des variables à mobiliser dans ce contexte constituent, d'une certaine façon, le contexte en extension. Comment identifier ces variables? Ces travaux préliminaires ont été rapidement approfondis et comparés et le lecteur intéressé trouvera une étude comparative très bien documentée dans [9]. Comment savoir à quelles hypothèses répondent tels ou tels contextes ? En pratique, il est ressorti rapidement que la définition d'un contexte était problématique et soulevait aussi bien des questions de complexité de calcul que de difficultés à définir : la thèse de Guha [10] encadrée par Mc Carthy précisait bien ces questions difficiles. La complexité de l'ingénierie de cette modélisation pour la représentation des connaissances dans le système CYC de Lenat [11] impose une méthode de réduction de complexité. En effet, une grande variété de combinaisons de valorisations de variables permet de définir un contexte, et chaque contexte doit être « affirmé » en examinant la validité des hypothèses de validité des règles que ses variables peuvent (ou non) déclencher. Pour résoudre cette question, Lenat, dès 1998, propose de décrire « presque » n'importe quel contexte selon « seulement » 12 dimensions qui permettraient de décrire 99 % des contextes qu'il a imaginés. Ces dimensions sont (nous reprenons la liste en anglais telle qu'elle a été publiée):

- *Absolute Time: a particular time interval in which events occur*
- *Type Of Time: a non-absolute type of time period, such as "just after eating"*
- *Absolute Place: a particular location where events occur, such as "Paris"*
- *Type Of Place: a non-absolute type of place, such as "in bed"*
- *Culture: linguistic, religious, ethnic, age-group, wealth, etc. of typical actors*
- *Sophistication/Security: who already knows this, who could learn it, etc.*
- *Topic/Usage: drilling down into aspects and applications – not subsets*

- *Granularity: phenomena and details which are (and are not) ignored*
- *Modality/Disposition/Epistemology: who wants/believes this content to be true?*
- *Argument-Preference: local rules for how to resolve pro-con argument disputes*
- *Justification: are things in this context generally proven, observed, on faith...*
- *Let's: local bindings of variables etc. that hold true in that context.*

Ces dimensions sont surtout descriptives et chaque définition possède des raffinements importants, en particulier dans la gestion du temps. Notons que le marquage de chaque affirmation par son contexte de validité, exprimé selon les différentes dimensions, revient à organiser des collections d'affirmations dans un espace à 12 dimensions dont certaines sont potentiellement infinies (le temps, la localisation spatiale) et d'autres finies (type de culture par exemple). En pratique, avant de lancer une inférence, il faut définir un « motif contextuel » (un intervalle, une zone géographique, une contrainte sur telle ou telle autre dimension) et sélectionner les règles d'inférence qui sont valides pour ce motif de contexte (ce qui laisse supposer que toute règle est annotée par le motif contextuel pour lequel elle est valide).

Dans [12], Patrick Brezillon fait le point des connaissances sur la notion de contexte en y associant les notions de révision, de raisonnement hypothétique, de raisonnement analogique également très étudiés en Intelligence Artificielle. C'est avec Fausto Giunchiglia ([13], [14]) étudiant formellement le raisonnement en contexte, que Patrick Brezillon anime la série des conférences CONTEXT¹ depuis 2007. Cette conférence a permis d'élargir considérablement l'étude de la notion de contexte à d'autres champs de recherche que l'intelligence artificielle. La section suivante se fonde principalement sur ces derniers travaux pour en faire un rapide état de l'art, en particulier sous l'angle de la modélisation, en l'analysant avec le prisme de l'ingénierie des connaissances pour l'appliquer au cas particulier de l'observation d'une activité.

3.2 La modélisation des connaissances contextuelles lors de l'observation d'une activité

Dans les travaux récents, la définition la plus répandue du contexte est celle de Dev [5]. Pour Dev une information est considérée comme du contexte si cette information permet de caractériser la *situation* d'une entité engagée dans une activité. Les entités engagées dans une activité sont les éléments qui expliquent spécifiquement une séquence particulière dans l'activité en question.

*Par exemple dans un accident de la route le fait que le conducteur ait consommé récemment de l'alcool ou pas est une information relevant du contexte. En effet, elle permet de savoir si le conducteur était dans un état normal pour conduire ou non. Cette information caractérise la **situation**² de l'entité « conducteur » engagée dans l'activité de conduite au moment de l'accident.*

Cette définition est générale car, quel que soit le domaine, elle permet de déterminer les informations relevant du contexte. Si cette définition est retenue, la question de la modélisation reste posée. Dev et al. [9] proposent une plateforme de gestion des connaissances contextuelles en suivant cette approche méthodologique. Gandon et al. [15] proposent une variante de cette approche garantissant une plus grande interopérabilité. Ces

¹ <http://cyprusconferences.org/context2015/>

² Travaux argumentant sur la nécessité de formaliser les contextes revendiquent une approche « située » de la cognition, telle que Clancey l'a théorisé par exemple [8].

travaux montrent que l'on saurait gérer les connaissances de contexte, y compris pour les exploiter pour des applications tierces. La question de leur découverte, posée comme difficile par tous les auteurs, n'apparaît toutefois pas dans les plateformes proposées.

G. Rey et al. [16] définissent le contexte comme un espace infini d'informations évolutives, qui ne sont pas connues en avance. Ce caractère dynamique du contexte rend sa modélisation très difficile. Pour réduire cette complexité de représentation du contexte d'une activité, en 2005, Bazire et al. [17] proposent une décomposition générique d'une activité selon les principales entités qu'elle mobilise. Ce modèle représente les entités ou composants d'une activité et les relations qui peuvent exister entre eux pour définir le contexte de l'activité. Le modèle générique des composants de contexte de 2005 Bazire et al. [17] permet de catégoriser les informations candidates au contexte des entités d'une activité mais elle ne dit rien sur la manière de découvrir ces informations. Il s'agit en effet d'une question d'ingénierie de la connaissance qui associe les méthodes issues de l'acquisition des connaissances auprès des experts et les méthodes cherchant à découvrir des connaissances dans les données disponibles et considérées comme caractéristiques de l'activité mobilisant ces connaissances.

Dans le cadre de ce travail, nous retenons cette représentation générique telle qu'elle est aujourd'hui reprise par la communauté CONTEXT, sans étudier sa validité, ce qui est, hors de notre question de recherche. Nous nous intéressons par contre à l'étude d'une ingénierie des connaissances qui soit adaptée à ce type de connaissance *contextuelle*. Dans un travail se référant à la question de l'ingénierie des connaissances contextuelles, [18], les auteurs considèrent la manière de « produire » les informations contextuelles à partir de capteurs RFID, sans aborder la question de la construction du sens qui devra ensuite avoir lieu pour exploiter cette information estampillée « contexte ». Un travail plus orienté sur la découverte de connaissances contextuelles, [19] dans le cadre d'un middleware robotique, repose sur l'association de plusieurs méthodes d'apprentissage automatique à partir d'un jeu de capteurs et actionneurs avec une mise en correspondance avec une ontologie contextuelle pour l'interprétation. Les auteurs ne s'intéressent pas à la construction de l'ontologie. Un travail de même nature [20], mais plus général encore, propose une manière d'intégrer la médiation contextuelle dans un processus de découverte de connaissance. La notion de contexte y est bien définie et les connaissances contextuelles permettent de multiplier les points de vue sur les patterns découverts. La connaissance découverte est en relation avec le contexte qui lui est attribué, mais cette connaissance contextuelle doit venir de l'expert médiateur de la découverte de connaissance. Plusieurs travaux s'intéressent à la représentation ontologique des contextes avec par exemple le langage CoOL [21], tandis que des travaux européens [22] se sont efforcés d'exploiter ces possibilités dans le cadre de l'interopérabilité ubiquitaire.

Nous n'avons pas repéré de travaux spécifiquement dédiés à la question de la découverte de connaissances contextuelles que ce soit à partir d'un dispositif d'observation d'activité (notre cadre) ou non.

Il est pourtant difficile pour un expert de nommer et qualifier les contextes explicatifs pour chaque situation observable dans une activité donnée et c'est parfois même une tâche complexe, comme le montre le champ de recherche de l'IFSTTAR qui cherche à élucider les contextes explicatifs de comportement de consommation de carburant.

L'observation instrumentée de l'activité produit des données suffisamment riches et nombreuses pour potentiellement expliquer les situations à étudier dans l'activité. Il est alors tentant d'utiliser les méthodes de découverte de connaissances à partir de données. La découverte de connaissances à partir de données, utilise des méthodes numériques (statistiques surtout) ou symboliques (algorithmes de fouille surtout) pour l'identification de motifs, avec une approche supervisée ou non, à partir de données collectées dans le monde « réel » observé. Cette approche mobilise différemment les connaissances de l'expert analyste qui est sollicité aussi bien pour la préparation des données que pour l'interprétation des motifs découverts. En 1996, Fayyad et al. [23], [24] propose la définition suivante : « La découverte de connaissances dans des bases de données est le processus non trivial d'identification, dans les données, de motifs valides, nouveaux potentiellement utiles et ultimement compréhensibles. » et ils proposent également le cycle de ce processus de découverte de connaissance. Lorsque les données ne sont pas « données », mais collectées à la suite de l'observation d'une activité produisant des traces de cette activité, nous parlerons alors d'ingénierie des connaissances *tracées*, en considérant que le choix de ce qui est observé est

déjà le fruit d'une connaissance explicite qu'il convient de modéliser dès la collecte. Dans le cadre de cet article, nous nous appuyons sur cette approche pour étudier les possibilités offertes pour assister l'ingénierie des connaissances contextuelles. Nous rappelons dans la section suivante les travaux de notre équipe de recherche qui forment l'environnement que nous allons mobiliser pour cette étude.

3.3 Ingénierie des connaissances à partir de traces d'observation

L'ingénierie des connaissances à partir de traces d'observation est une forme d'ingénierie de découverte *dynamique* des connaissances, dans le sens où la connaissance s'établit dynamiquement et que cette dynamique est explicitement gardée comme explicative de telle ou telle interprétation. Les connaissances manipulées réfèrent à des observations situées dans le temps (obsels : observed elements). Une séquence d'obsels associée au modèle des types de ces obsels et aux informations associées à l'observation quel que soit l'obsel, constitue une M-Trace (Trace modélisée). Le concept de trace modélisée a été développé par l'équipe SILEX du laboratoire LIRIS dans le but de construire des connaissances à partir de l'observation des interactions observables dans une activité ([25], [26]). Le modèle d'une trace en fournit une certaine sémantique, le « vocabulaire » de la trace (les types d'obsels observables et les types de relation observables) et les types des attributs de chaque type d'obsel. Une M-Trace est donc déjà une certaine interprétation explicite de l'observation. Chaque Obsel est situé temporellement selon le modèle de représentation du temps de la trace (représentation temporelle ou séquentielle, temps absolu ou relatif, unités de temps utilisées, etc.). Ce modèle explicite est utilisé aussi bien pour documenter la trace auprès des utilisateurs que pour permettre des calculs inférentiels appelés transformations de trace. La trace *première* issue de la collecte peut en effet être transformée par des opérateurs de transformation construisant une trace transformée si un motif d'obsels est reconnu dans cette trace première, selon une interprétation particulière et explicite. Le même processus de transformation peut naturellement s'appliquer à une trace transformée pour raffiner un raisonnement. Des raisonnements différents (différents points de vue) permettent de construire des interprétations différentes à partir de la même observation. D'un point de vue épistémologique, cela revient à interpréter différemment le même jeu de données. Une M-Trace contient ainsi, non seulement des informations relatives à ce qui a été observé, mais aussi sur la manière d'interpréter ces éléments observés. C'est cette capacité à exprimer des points de vue différents que nous souhaitons exploiter pour mettre en évidence des contextes différents à définir pour expliquer convenablement tel ou tel motif comportemental.

Nous présentons ci-dessous l'état actuel de cette étude et les premiers résultats que nous obtenons.

4 Proposition d'un processus d'assistance à la découverte de connaissances contextuelles à partir de l'expérience tracée

L'objectif de cette méthode est d'identifier les facteurs contextuels pouvant expliquer un critère sur des données d'activité temporelle. Le contexte étant spécifique à la tâche en cours (sous partie de l'activité globale), il est important de travailler sur des segments homogènes de l'activité pour identifier quels sont les composants contexte dont les variations vont expliquer celles du critère à explorer.

Nous cherchons à construire une méthode de découverte de connaissance interactive et itérative basée sur l'observation et des connaissances du domaine de l'analyste. Elle doit être *interactive* car c'est l'analyste qui pilote chaque étape et doit être *itérative* car l'analyste peut revenir en arrière à n'importe quelle étape. Dans cette approche, l'analyste a un rôle très important car c'est lui qui guide l'analyse en fonction de ses connaissances du domaine et de l'activité. C'est lui qui propose les transformations sur une M-Trace (source) à faire pour « voir » l'activité selon « son » interprétation (M-Trace transformée). Ces transformations sont conservées dans la base de traces modélisées et la trace transformée obtenue peut alors être explicitée facilement et confrontée à d'autres interprétations également représentées par des transformations. Les observations collectées constituent les M-Traces collectées (M-

Traces premières) et les M-Traces transformées issues de transformations constituent les différentes façons d'interpréter les choses selon telle ou telle expertise.

La découverte est *supervisée* et les séquences de comportement à caractériser sont *étiquetées* par l'analyste qui y « reconnaît » quelque chose qui fait du sens pour lui.

Le principe de l'assistance à la découverte de connaissance est simple dans son principe. L'analyste propose une interprétation contextuelle qui d'après ses connaissances permettrait d'expliquer tel ou tel comportement correspondant à une étiquette qu'il connaît. La transformation est alors propagée sur l'ensemble des séquences étiquetées, et les séquences qui ne seraient pas étiquetées correctement par la transformation précédente sont identifiées et utilisées pour raffiner la transformation. Ce processus est itéré jusqu'à obtenir un taux de d'étiquetage correct satisfaisant pour les experts. La comparaison entre les éléments mobilisés dans la requête décrivant la première transformation imaginée par l'analyste et la dernière requête de transformation considérée comme satisfaisante, met en évidence les obsels de contexte (les éléments non pris en compte initialement par l'analyste) candidats pour expliquer le comportement étiqueté. Cette méthode a donc pour but de définir interactivement le contexte explicatif d'un comportement lors de l'analyse d'une activité.

Pour réussir à mettre en œuvre l'ensemble du processus, nous proposons les cinq étapes décrites dans les paragraphes suivants.

4.1 Définition des composants génériques du contexte

Cette étape nous permet à partir du modèle des composants contexte de Bazire et al. [17] d'identifier « toutes » les variables possibles « candidates » au contexte lors de l'analyse d'une activité en fonction des objectifs ou des besoins d'analyse. Le modèle des composants contexte est constitué des contextes des entités qui interviennent lors de la réalisation d'une activité.

D'après ce modèle, le contexte d'une activité est défini par l'ensemble des contextes de chaque entité de cette activité qui sont : le contexte de l'utilisateur «Cu», le contexte de l'item (système, objet, application, etc.) «Ci», et le contexte environnemental «Ce». Toutes les activités possèdent ces entités car une activité se traduit par l'interaction entre un utilisateur et un objet ou une application dans un environnement dans le but de réaliser une tâche. Le contexte de l'observateur «Co» permet de définir le contexte de l'analyse comme les objectifs et le périmètre de l'analyse d'une activité.

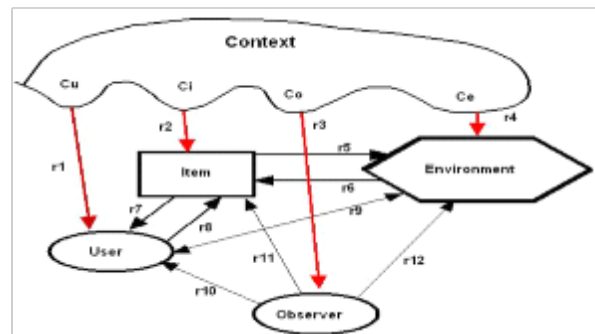


FIGURE 1 – Modèle des composants contexte (Bazire et al. [17]).

Pour modéliser l'ensemble de ces contextes d'une activité, il est nécessaire de définir les informations relatives aux entités impliquées dans cette activité. Elles peuvent être utilisées pour caractériser un segment d'activité particulier. Ceci nous renvoie à la définition du contexte de Dey [5]. A ce niveau de l'analyse il s'agit d'informations *potentielles* de contexte de l'activité analysée. Pour identifier celles qui sont réellement explicatives, nous utiliserons donc les techniques de l'ingénierie des connaissances tracées.

4.2 Collecte et préparation des données

A partir d'un ensemble de données d'une activité, cette étape a pour but de faire la sélection et la contextualisation des données de l'activité en fonction des objectifs d'analyse. Elles seront préparées en utilisant les techniques de préparation de données telles que la gestion des valeurs manquantes, la création de nouvelles variables, transformation des variables... Puis elles seront contextualisées en ajoutant des informations relatives aux différents composants contexte définis dans le paragraphe 4.1. Il s'agit donc d'associer pour chaque segment

d'activité sélectionné les variables potentielles explicatives du contexte. Ces variables peuvent être utilisées pour caractériser les contextes spécifiques aux différents comportements observés de l'activité analysée. Par exemple, pour le composant «Ce» de la partie 4.1, il faut collecter toutes les informations relatives à la localisation de l'activité et les contraintes associées. La contextualisation des données consiste donc à ajouter les informations permettant de définir, de caractériser de façon précise le contexte de chacune des entités de l'activité. Ces informations peuvent être collectées automatiquement à partir de capteurs (ex. type de route) ou par codage manuel de l'activité (ex. le trafic, la météo). Pour «peupler» la première liste de variables candidates, il est intéressant d'utiliser des algorithmes d'analyse de données.

4.3 Construction de la base de connaissances (les modèles des M-Traces)

La base de connaissances est composée de règles de reformulations pour décrire une activité ou une situation de l'activité comme une succession d'événements pertinents. Cette étape peut être très rapide si l'analyste maîtrise suffisamment le domaine pour créer directement ces règles lors de l'analyse tracée de l'activité. L'élaboration même de ces reformulations est très utile à l'analyste pour préciser et formaliser ses connaissances. Par exemple, dans cet article, cette étape a été utilisée pour segmenter l'activité de conduite en fonction des situations homogènes de conduite comme AllerToutDroit, TournerADroite etc. En fonction des paramètres dynamiques du véhicule, une modélisation de ces situations de conduite est alors effectuée.

En pratique, ces paramètres comme l'angle du volant, la vitesse ont été utilisés pour prédire les situations de conduite. Les règles de prédiction de ces situations de conduite ont été validées par observation par l'analyste avant d'être stockées dans la base de connaissances. Ces règles seront utilisées dans l'étape suivante pour créer les situations de conduite homogènes.

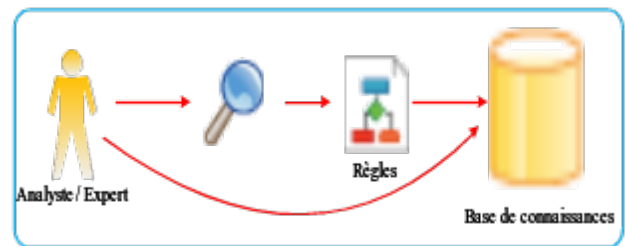


FIGURE 2 – Construction de la base de connaissances.

4.4 Processus d'assistance à l'analyse à la découverte de connaissances contextuelles

Le processus d'assistance à la découverte du contexte lors de l'analyse d'une activité est effectué à partir de l'analyse des traces. Tracer une activité consiste à la décrire avec les aspects pertinents (*obsels*) à partir d'observations et des connaissances de l'analyse. Dans l'étape 4.3, les données ont été préparées et contextualisées. A partir de cette base de données cible, la M-Trace première collectée T_0 est créée.

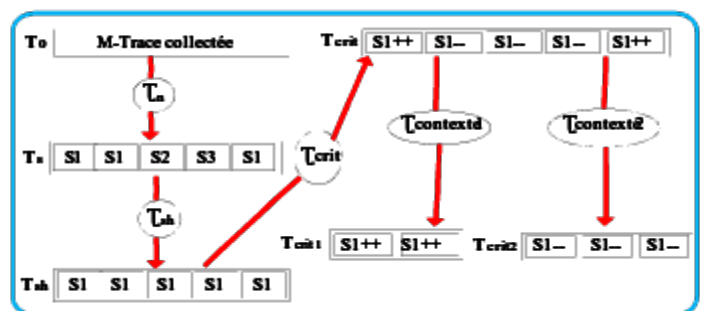


FIGURE 3 – Processus d'assistance à la découverte de connaissances contextuelles.

A partir de T_0 , l'objectif est alors de décrire une situation comportementale d'une activité et d'explicitier le contexte de cette situation comportementale. Dans un premier temps, les premières transformations T_n vont permettre de créer les différents segments temporels de l'activité correspondant aux différentes tâches qui constituent l'activité analysée. Puis la transformation T_{sh} permet de sélectionner dans ces segments, ceux qui correspondent à la tâche de l'activité que l'on souhaite analyser (ex. segments S1 dans la FIGURE 2). Ces transformations sont faites grâce aux règles élaborées lors de l'étape 4.3 et complétées par l'expertise de l'analyste. Dans un deuxième temps, la transformation T_{crit} , permet d'étiqueter

les segments en fonction des valeurs du critère à expliquer (-- et ++) sur le schéma. Puis, pour identifier parmi les variables contextuelles candidates, celles qui font vraiment partie du contexte, il est nécessaire à partir de l'ensemble des segments homogènes de l'activité de tenter des transformations différentes $\mathbf{T}_{\text{contexte1}}$, $\mathbf{T}_{\text{contexte2}}$ en fonction des valeurs du critère à expliquer. Ces transformations sont effectuées sur la base des variables candidates du contexte définies dans l'étape 4.1. Elles permettent de construire les M-traces transformées T_{crit1} et T_{crit2} identifiant et définissant les segments qui satisfont les règles de transformations $\mathbf{T}_{\text{contexte1}}$, $\mathbf{T}_{\text{contexte2}}$. Le contexte explicatif des critères crit1 et crit2 est défini par les variables candidates du contexte de l'activité qui ont été **retenues** respectivement dans les transformations $\mathbf{T}_{\text{contexte1}}$, $\mathbf{T}_{\text{contexte2}}$.

4.5 Evaluation et validation des variables de contexte à retenir

L'étape d'évaluation consiste à appliquer les connaissances découvertes sur de nouveaux jeux de données afin de déterminer la stabilité et la validité de ces connaissances. Cela consiste à voir si les connaissances découvertes sont suffisamment stables sur de nouveaux jeux de données pour permettre une modélisation d'un modèle d'assistance contextuel à partir de ces connaissances. Cette validation est faite à l'aide des transformations considérées comme satisfaisantes, en les appliquant sur les M-Traces (observation des transformations issues de la partie 4.4 sur de nouveaux jeux de données) du corpus d'observation complet. Si le taux de réussite des transformations est supérieur à un certain taux, les variables retenues dans ces transformations sont intégrées dans la représentation du contexte à prendre en compte.

5 Application à la découverte du contexte dans le domaine des transports

Dans notre cas d'analyse, le processus d'assistance de découverte du contexte est appliqué au domaine du transport dans le but d'expliquer la consommation en carburant selon des comportements de conduite automobile. Pour cela, nous cherchons à identifier le contexte explicatif du critère consommation en carburant. Ce critère est défini par le gain de consommation en carburant réalisable sur un segment donné de l'activité de conduite. Plus le gain potentiel est important, plus le conducteur a surconsommé. Ce gain est calculé par la formule suivante :

$$\text{Gain} = 1 - (\text{ConsoOpt} / \text{ConsoReelle}) \quad (1)$$

Avec : *ConsoOpt* la consommation optimisée du segment issue d'un logiciel d'optimisation de la consommation du LTE (Laboratoire Transport Environnement de l'IFSTTAR [27]) et *ConsoReelle* la consommation réelle de carburant effectué sur le segment.

Le gain de consommation en carburant a été regroupé en 4 classes définies ci-dessous.

TABLE 1 - Classification du critère du gain en consommation en 4 classes.

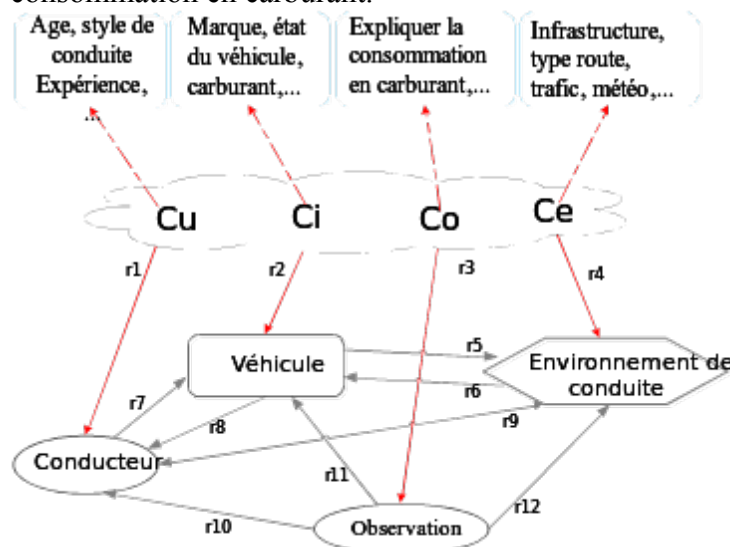
Gain de consommation en carburant en %	Classe
[0-10[0
[10-20[1
[20-30[2
>=30	3

L'objectif de cette analyse étant d'expliquer ce gain en tenant compte du contexte en utilisant le processus d'assistance à la découverte de connaissances contextuelles, nous allons suivre les quatre étapes de ce processus.

5.1 Définition des composants contexte de l'activité de conduite

L'activité de conduite automobile consiste à se déplacer d'un point A à un point B au moyen d'un véhicule. Pour cela, les entités Conducteur et Véhicule interagissent ensemble

dans un environnement donné qui est l'environnement de conduite (la route). Non seulement ces entités interagissent ensemble, mais elles ont une influence sur l'activité de conduite. Par exemple, en cas de trafic dense, la conduite est lente car l'environnement extérieur contraint le conducteur à tenir compte des autres véhicules. Lors de la conduite automobile, le conducteur adapte en permanence sa conduite en fonction de ce qui se passe autour de lui, donc de son environnement de conduite (trafic, météo, type de route, ...). Cette adaptation aux conditions de circulation influence les comportements ou actions de conduite. Ces changements de comportements de conduite influencent à leur tour la consommation en carburant [17]. Ces informations pourraient potentiellement expliquer des différences de consommation. Elle seront donc des éléments candidats au contexte de l'activité de conduite dans le cadre de cette analyse d'après la définition du contexte de Dey [5]. A partir du modèle de composant contexte de Bazire et al. [17], nous définissons les informations candidates aux contextes des entités de l'activité de conduite automobile. Les informations relatives aux entités de l'activité de conduite (Conducteur, Véhicule, Environnement de conduite, Observateur) permettront de collecter le maximum d'informations pour mieux expliquer le critère qui est dans notre cas la consommation en carburant.



Par exemple dans nos données, la conduite change en fonction du contexte de l'environnement « Ce » : type de la route (autoroute, urbain, etc.), trafic (fluide, dense, bouchon etc.), météo (neige, pluie, soleil), mais aussi du contexte conducteur « Cu » (expérience de conduite, âge, style de conduite etc.) et du contexte du véhicule « Ci » (marque, carburant, etc.). Les informations relatives à ce critère à expliquer sont définies par l'entité Observateur. Ici, on cherche à expliquer la consommation en carburant de la situation de conduite « AllerToutDroit ».

FIGURE 4 – Contexte de l'activité de conduite à partir de [14].

5.2 Collecte et préparation des données K/Consommation en carburant

Les données brutes collectées lors de l'activité de conduite sont des données numériques et des vidéos. Avec l'outil d'analyse de l'activité de conduite, il nous est donc possible de coder manuellement les paramètres ou variables candidates relatives au contexte de l'activité conduite grâce aux vidéos telle que : la météo, le trafic, l'infrastructure, les incidents etc. A ce niveau, il est préférable de renseigner le maximum d'informations sur les variables candidates au contexte de l'activité de la partie 5.1 et sur les autres paramètres issus des capteurs.

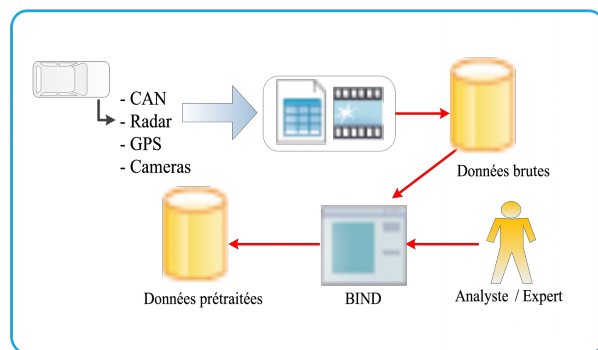


FIGURE 5 – Collecte et préparation de données de l'activité de conduite.

Pour préparer les données, plusieurs opérations de préparation ont été effectuées, par exemple la création de nouveaux paramètres (calculés et contextuels). Les paramètres calculés sont définis par l'expert du domaine à partir des paramètres bruts issus de la collecte, par exemple

la moyenne de la vitesse, les fréquences d'utilisation des rapports de boîtes vitesse sur les différents segments, le gain potentiel de consommation.

TABLE 2 - Exemples de paramètres utilisés

Paramètres bruts	Paramètres calculés	Paramètres contextuels
Durée du trajet, angle du volant, vitesse, accélération, régime moteur, enfoncement de la pédale de frein, consommation en carburant, position GPS, position sur la voie,	Moyenne, somme, écart art type, dérivée, amplitude de données continues brutes (vitesse, angle du volant ...) sur un segment, pourcentage de temps d'utilisation du frein et des rapports de boites vitesse sur un segment, consommation optimale, vitesse optimale,...	Type de route, météo, trafic, infrastructure, objectif de conduite, marque du véhicule, âge du conducteur, ...

5.3 Construction de la base de connaissances K/Consommation en carburant

Cette étape a permis de définir des règles de reformulations « sûres » (requêtes basées sur des éléments objectifs, non contextuels), afin identifier des segments temporels homogènes en termes d'action de conduite : AllerToutDroit, TournerADroite, TournerAGauche etc. Elle a permis également d'étiqueter ces segments de conduite en fonction de leur gain de consommation en carburant (ce gain était mesuré). Les segments issus de cette étape seront utilisés dans l'étape suivante pour étudier le contexte explicatif de la surconsommation dans des séquences comparables.

Pour identifier les variables « non contextuelles », nous pouvons exploiter des méthodes de fouille de données cherchant à identifier les variables les plus explicatives sur l'ensemble des segments

Par exemple, nous avons utilisé une méthode de classification supervisée (Arbre de décision CRT) pour identifier les paramètres non contextuels prédisant le gain potentiel de carburant sur les segments «AllerToutdroit» de l'activité de conduite. Cette classification a permis de bien classer 90% de l'ensemble des segments utilisés pour l'apprentissage.

Ce type de méthode permet d'identifier les paramètres pertinents pour séparer des segments. Par exemple, pour modéliser les segments du nœud3 de l'arbre on aura la règle de reformulation suivante : *Si Vitesse $\leq 6,165$ et FreqUtilBoiteVit3 $\leq 14\%$ alors CatGain =2*. La méthode d'arbre de décision été choisie car elle a l'avantage de fournir des règles de décisions mais toute autre méthode efficace pourrait être utilisée.

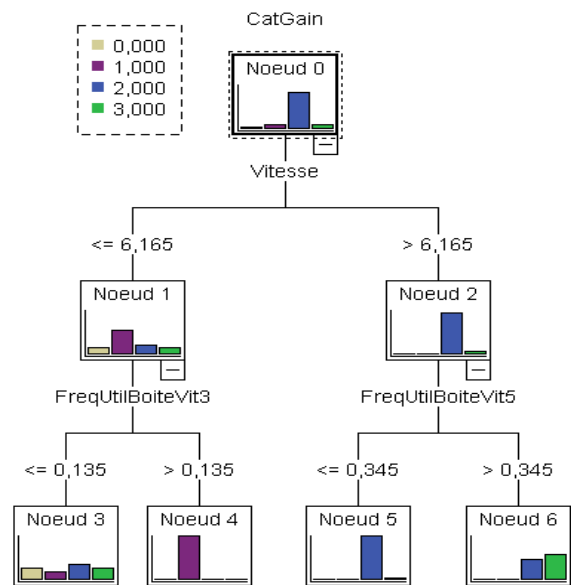


FIGURE 6 – Arbre de décision du gain de consommation.

5.4 Processus d'assistance à l'analyse K/Consommation en carburant

A ce niveau de l'analyse notre objectif est de montrer qu'en découvrant les variables utiles parmi les variables candidates au contexte (définies en 5.1) sur les nœuds contenant des éléments hétérogènes (les 10% de segments mal classés le sont dans les nœuds 3 et 6 de l'arbre de décision), on arrive à améliorer le taux de classification.

Nous allons donc étudier les M-Traces issues de la règle de reformulation de l'étape 5.3 qui modélise le nœud 3 avec la transformation suivante qui crée la trace T_3 :

$T_3 = \langle \text{SELECT } * \text{ FROM } T_{sh} \text{ WHERE } vitesse \leq 6 \text{ AND } FreqUtilBoiteVit3 \leq 0,14 \text{ PRODUCT } CatGain = 2 \rangle$

De même, la transformation qui modélise le nœud 6 crée la M- trace T_6 est:

$T_6 = \ll \text{SELECT } * \text{ FROM } T_{sh} \text{ WHERE } vitesse > 6 \text{ AND } FreqUtilBoiteVit 5 > 0,35 \text{ PRODUCT } CatGain = 3 \gg$.

Pour identifier parmi les variables contextuelles candidates, celles qui font vraiment partie du contexte, il est nécessaire à partir de l'ensemble de ces segments de créer des transformations cherchant à mieux discriminer les segments selon leur étiquette de gain.

La comparaison des requêtes tentées a permis d'identifier que la variable contextuelle « *TypeInfra* » permettait de mieux classer les obsels des M-Traces T_3 et T_6 avec les règles de transformations suivantes :

$T_{Contexte1} = \ll \text{SELECT } * \text{ FROM } T_3 \text{ WHERE } TypeInfra \text{ Like 'LigneDroite' OR } TypeInfra \text{ Like 'RondPoint' UPDATE } CatGain = 0 \gg$.

$T_{Contexte2} = \ll \text{SELECT } * \text{ FROM } T_6 \text{ WHERE } TypeInfra \text{ Like 'LigneDroite' OR } TypeInfra \text{ Like 'RondPoint' UPDATE } CatGain = 3 \gg$.

$T_{Contexte3} = \ll \text{SELECT } * \text{ FROM } T_3 \text{ WHERE } TypeInfra \text{ Like 'Intersection' UPDATE } CatGain = 3 \gg$.

$T_{Contexte4} = \ll \text{SELECT } * \text{ FROM } T_6 \text{ WHERE } TypeInfra \text{ Like 'Intersection' UPDATE } CatGain = 3 \gg$.

$T_{Contexte5} = \ll \text{SELECT } * \text{ FROM } T_3 \text{ WHERE } TypeInfra \text{ Like 'Tunnel' UPDATE } CatGain = 2 \gg$

$T_{Contexte5} = \ll \text{SELECT } * \text{ FROM } T_6 \text{ WHERE } TypeInfra \text{ Like 'Tunnel' UPDATE } CatGain = 2 \gg$.

Sur les obsels des deux M-Traces T_3 et T_6 , ces transformations ont permis d'en classer correctement 67% au lieu des 43% classés avec uniquement les paramètres non contextuels.

En répétant ce processus sur l'ensemble des variables candidates au contexte, nous avons identifié que les variables contextuelles qui expliquent le mieux le gain de consommation sont le trafic et l'infrastructure.

		Classification				
Echantillon	Observations	Prévisions				
		0	1	2	3	% correct
Initial	0	0	0	3	0	0%
	1	0	9	2	0	82%
	2	0	0	109	4	96%
	3	0	0	4	5	56%
	% global	0%	7%	87%	7%	90%

TABLE 3 - Identification des classes de gains avec des paramètres non contextuels.

		Classification				
Echantillon	Observations	Prévisions				
		0	1	2	3	% correct
Initial	0	3	0	0	0	100%
	1	1	9	1	0	82%
	2	0	0	113	0	100%
	3	1	0	1	7	78%
	% global	4%	7%	85%	5%	97%

TABLE 4 - Identification des classes de gains après l'ajout des paramètres contextuels.

En fin d'analyse, nous avons les résultats suivants. Avec uniquement les variables non contextuelles nous avons un taux de 90% de bonne prédiction de la classe de gain. En ajoutant deux variables contextuelles, nous avons maintenant un pourcentage de bonne classification global de 97%, ce qui fait une augmentation de plus 7% sur les données initiales ayant servis au processus de découverte des connaissances.

5.5 Evaluation et validation des variables contextuelles découvertes

Cette étape est importante pour savoir si les connaissances découvertes sur les données utilisées dans l'étape d'analyse des traces sont avérées sur de nouvelles données. Cette étape doit être effectuée avant chaque mise à jour de la base de connaissances.

Pour mesurer la cohérence des connaissances produites, nous les avons utilisées sur de nouvelles données (données Test). Les résultats sont dans le tableau ci-contre. Nous voyons que le taux de classification sur l'échantillon de test est de 84%, ce qui correspond déjà à un bon taux de prédiction. Il est moins bon que celui sur l'échantillon initial (97%), cela est sans doute dû au fait que le nombre de données n'est pas très important car nous n'avons pas beaucoup de données codées manuellement. Pour vérifier la stabilité des connaissances découvertes, nous prévoyons d'autres tests de validation sur un plus grand volume de données issues de la segmentation automatique de l'activité de conduite en segments homogènes.

TABLE 5 - *Test de validation des connaissances.*

		Classification				
Echantillon	Observations	Prévisions				% correct
		0	1	2	3	
Initial	0	3	0	0	0	100%
	1	1	9	1	0	82%
	2	0	0	113	0	100%
	3	1	0	1	7	78%
	% global	4%	7%	85%	5%	97%
Test	0	1	0	0	0	100%
	1	0	2	2	0	50%
	2	0	2	25	0	93%
	3	0	0	2	3	60%
	% global	3%	11%	78%	8%	84%

Méthode de développement : CRT
Variable dépendante : CatGainFuel10

5.6 Discussion de l'étude sur la consommation

Les premiers résultats obtenus permettent d'une part, de déterminer les facteurs qui favorisent la surconsommation et constituent donc le contexte explicatif de la consommation en carburant et d'autre part, de déterminer la classe à laquelle appartient le gain de consommation potentiel sur un segment de l'activité de conduite selon les valeurs prises par les variables contexte. En appliquant le même processus sur chaque type de segment, on peut déterminer les variables dont dépendent la consommation et la classe de gain à laquelle il appartient. Une base de connaissances contextuelles sur la consommation en carburant est ainsi progressivement construite. Cette base sera validée avec un corpus plus important de données, puis pourra être publiée et exploitée pour expliquer la consommation en carburant en tenant compte du contexte de conduite. Une utilisation prometteuse est la mise en place d'un système d'assistance contextuel à la conduite automobile. En effet, savoir quels types de gain sont possibles dans quels types de situation guide les experts en facteurs humains dans la définition des informations utiles au conducteur pour optimiser sa consommation et ainsi adapter les interactions système/utilisateur au contexte de conduite. Dans cet article, les résultats présentés ne font apparaître que les variables du contexte environnemental (Type d'infrastructure et Trafic) sur lequel nous avons choisi de nous focaliser pour mettre en évidence la validité de l'approche. Ce choix d'un composant contexte du modèle de Bazire et al. [17] a été guidé par le fait que les expérimentations réalisées permettaient de fournir des informations nombreuses pour l'explorer. De ce fait, nous n'avons travaillé que sur un seul type de véhicule et donc le composant Véhicule est toujours défini par les mêmes informations. De la même façon, le composant « Conducteur » est défini uniquement par l'identifiant du conducteur mais, naturellement, nous allons élargir le champ d'étude en ajoutant d'autres paramètres du composant « Conducteur » tels que âge, type de conduite. Ces informations seront alors intégrées dans nos données pour déterminer leur impact sur la consommation en carburant. Cela devrait permettre d'améliorer encore le taux de classification et à terme de raffiner les systèmes contextuels d'aide à la conduite pour réduire la consommation en carburant.

6 Conclusion

Le travail de recherche présenté dans cet article se développe selon deux contributions principales dans le domaine de l'ingénierie des connaissances : la clarification d'une démarche de découverte d'éléments contextuels dans l'observation d'une activité guidée par la recherche d'éléments explicatifs d'un comportement spécifique, débouchant sur des principes, une méthode et un environnement de découverte interactive de connaissances contextuelles ; une démarche d'analyse originale dans le domaine de la conduite automobile avec de premiers

résultats très encourageants mettant en évidence des éléments de contexte qu'il serait difficile d'établir sans l'assistance à l'analyse mise en place sur la base de la contribution principale.

Les prochaines étapes consistent à d'une part formaliser la démarche de découverte interactive de connaissances de *type contexte*, ce qui permettra de l'appliquer plus facilement à bien d'autres domaines et, d'autre part, à valider les connaissances découvertes dans le domaine de la conduite automobile et valorisant l'approche comme une approche efficace et valide pour l'établissement dynamique de contextes explicatifs, exploitables, en tant que tels, dans des raisonnements pour analyser la conduite en situation réelle ou dans des simulateurs. Le choix d'un modèle générique de représentation des connaissances contextuelles devrait faciliter la réutilisation des connaissances contextuelles ainsi établies. L'un de nos objectifs futurs est d'évaluer l'efficacité de l'approche proposée dans cet article par rapport à d'autres possibles approches de découvertes de connaissances contextuelles.

Remerciements : Nous tenons à remercier le CEESAR pour la mise à disposition des données naturelles de conduite.

Références

- [1] « Changement Climatique et Transports - Changement_Climatique_et_Transports.pdf ». [En ligne]. Disponible sur: http://www.rac-f.org/IMG/pdf/Changement_Climatique_et_Transports.pdf.
- [2] A. Rakotonirainy, N. Haworth, G. Saint-Pierre, et P. Delhomme, « Research issues in Eco-driving », *Old. Univ. Technol. Fr. Inst. Sci. Technol. Transp.*, 2011.
- [3] B. Bart, S. Broekx, et D. Tobias, « Using on-board logging devices to study the longer-term impact of an eco-driving course », 2009. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920909000698>.
- [4] « Parcs [Transports, Véhicules routiers] : Observation et statistiques ». [En ligne]. Disponible sur: <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/transports/r/parcs.html>. [Consulté le: 15-mars-2015].
- [5] ANIND K. DEY, « Understanding and Using Context », *Pers. Ubiquitous Comput.*, vol. 5, p. 4-7, 2001.
- [6] O. L. Georgeon, A. Mille, T. Bellet, B. Mathern, et F. E. Ritter, « Supporting activity modelling from activity traces », *Expert Syst.*, vol. 29, n° 3, p. 261–275, 2012.
- [7] MATHERN Benoît, « Découverte interactive de connaissances à partir de traces d'activité : Synthèse d'automates pour l'analyse et la modélisation de l'activité », THÈSE DE DOCTORAT EN INFORMATIQUE, 2012.
- [8] J. McCarthy, « Notes on formalizing context », 1993.
- [9] V. Akman et M. Surav, « Steps toward formalizing context », *AI Mag.*, vol. 17, n° 3, p. 55, 1996.
- [10] R. V. Guha, « Contexts: A Formalization and Some Applications », Stanford University Computer Science Department, 1991.
- [11] D. Lenat, « The dimensions of context-space », *Available Online URL Httpwww Casbah OrgresourcescycContextSpace Shtml*, 1998.
- [12] P. Brézillon, « Modeling and Using Context: Past, Present and Future », *Decis. Support Thought Knowl. Manag.*, p. 301–320, 2000.
- [13] F. Giunchiglia et P. Bouquet, « Introduction to contextual reasoning: an artificial intelligence perspective », in *Perspectives on Cognitive Science*, vol. 3, Sofia: B Konikof, 1996, p. 138–159.
- [14] P. Bouquet, C. Ghidini, F. Giunchiglia, et E. Blanziero, « Theories and uses of context in knowledge representation and reasoning », Technical Report DIT-02-010, 2001.
- [15] F. Gandon et N. Sadeh, « Gestion de connaissances personnelles et contextuelles, et respect de la vie privée », in *15èmes Journées francophones d'Ingénierie des Connaissances*, 2004, p. 5–16.
- [16] G. Rey, J. Coutaz, et J. L. Crowley, « The contextor: a computational model for contextual information », *Wokshop Build. Bridg. Interdiscip. Context-Sensitive Comput.*, 2002.
- [17] M. Bazire et P. Brézillon, « Understanding Context Before Using It », in *Modeling and using context*, Springer, 2005, p. 29–40.
- [18] G. Castelli, M. Mamei, et F. Zambonelli, « Engineering executable agents using multi-context systems », in *Engineering Environment-Mediated Multi-Agent Systems*, vol. 5049, 2008, p. 223–239.

- [19] K. A. P. Ngoc, Y.-K. Lee, et S.-Y. Lee, « Context knowledge discovery in ubiquitous computing », in *On the Move to Meaningful Internet Systems 2005: OTM 2005 Workshops*, 2005, p. 33–34.
- [20] « Knowledge Engineering in a Temporal Semantic Web Context ».
- [21] T. Strang, C. Linnhoff-Popien, et K. Frank, « CoOL: A context ontology language to enable contextual interoperability », in *Distributed applications and interoperable systems*, 2003, p. 236–247.
- [22] R. Mullins, T. Carsten Pils, D. I. Roussaki, et D. NTUA, « Context and Knowledge Management », *Mob. Serv. Platf. Clust. White Pap. June*, p. 1–47, 2008.
- [23] U. Fayyad, G. Piatetsky-Shapiro, et P. Smyth, « From data mining to knowledge discovery in databases », *AI Mag.*, vol. 17, n° 3, p. 37, 1996.
- [24] U. Fayyad, G. Piatetsky-Shapiro, et P. Smyth, « The KDD Process for Extracting Useful Knowledge from Volumes of Data », *Commun. ACM*, vol. 39, n° 11, 1996.
- [25] J. Laflaquiere, Y. Prié, et A. Mille, « Ingénierie des traces numériques d’interaction comme inscriptions de connaissances », in *19es Journées Francophones d’Ingénierie des Connaissances (IC 2008)*, 2008, p. 183–195.
- [26] Settouti, L. S., « Systèmes à Base de Traces Modélisées : Modèles et Langages pour l’exploitation des traces d’Interactions. », Thèse de doctorat Informatique, Université Claude Bernard Lyon 1, 2011.
- [27] F. Mensing, E. Bideaux, R. Trigui, et H. Tattégren, « Trajectory optimization for eco-driving taking into account traffic constraints », *Transp. Res. Part Transp. Environ.*, vol. 18, p. 55–61, janv. 2013.
- [28] E. E. Karin Brundell-Freij, « Influence of street characteristics, driver category and car performance on urban driving patterns », *Transp. Res. Part Transp. Environ.*, vol. vol. 10,no 3, p. p. 213-229., 2005.