



HAL
open science

L'ingénierie des systèmes d'information pervasifs : Quelles sont les compétences attendues ?

Carine Souveyet, Manuele Kirsch Pinheiro

► To cite this version:

Carine Souveyet, Manuele Kirsch Pinheiro. L'ingénierie des systèmes d'information pervasifs : Quelles sont les compétences attendues ?. INFORSID 2021, Jun 2021, Dijon, France. pp.3-12. hal-03877498

HAL Id: hal-03877498

<https://hal-paris1.archives-ouvertes.fr/hal-03877498>

Submitted on 29 Nov 2022

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.

L'ingénierie des systèmes d'information pervasifs : Quelles sont les compétences attendues ?

Carine Souveyet¹, Manuele Kirsch-Pinheiro¹,

*1. Centre de Recherche en Informatique, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne
90 rue de Tolbiac, 75013 Paris, France*

Carine.Souveyet@univ-paris1.fr, Manuele.Kirsch-Pinheiro@univparis1.fr,

RÉSUMÉ. Grâce à l'émergence de technologies tels que IoT, Mobile computing, Cloud computing, Fog/edge computing le Système d'Information (SI) d'une organisation peut intégrer des environnements informatiques intelligents, complexes, hétérogènes et mobiles au-delà de l'environnement physique de l'organisation afin d'être plus réactif et proactif dans les services et les processus métiers qu'il supporte. Cette nouvelle génération de SI, nommée Système d'Information Pervasif (SIP) nécessite d'adopter une vision très intégrée de l'ensemble des couches d'un SI qui va de la plus basse « architecture physique informatique » à la plus haute de « pilotage métier ». Une telle verticalité contraste avec les pratiques traditionnelles, dans lesquelles la complexité d'un SI est maîtrisée par un cloisonnement en couches et une gestion de celles-ci en « silo ». Les auteurs essaient de comprendre quelles sont les connaissances et les compétences attendues pour l'ingénierie de tels systèmes.

ABSTRACT . Thanks to the emergence of technologies such as IoT, Mobile computing, Cloud computing, Fog / Edge computing, the Information System (IS) of an organization can integrate intelligent, complex, heterogeneous and mobile computing environments beyond the physical environment of the organization in order to be more responsive and proactive in the services and business processes it supports. This new generation of IS, called Pervasive Information System (PIS) requires adopting a very integrated vision of all the layers of an IS, which goes from the lowest "physical IT architecture" to the highest "business management". Such verticality contrasts with "traditional" practices on IS, on which, the complexity of an IS is controlled by a partitioning into layers and a management of these in "silo". The authors try to understand what knowledge and skills are expected for the engineering of such systems.

Mots-clés : Systèmes d'Information Pervasifs, Ingénierie des SIP, Compétences.

Keywords: Pervasive Information Systems, SIP Engineering, Skills.

1. Introduction

L'émergence de nouvelles technologies dans les SI conduit à leur évolution vers une nouvelle génération de Systèmes d'Information, les Systèmes d'Information Pervasifs. Ces nouvelles technologies influencent, en premier lieu, les infrastructures utilisées par ces systèmes, mais leur influence ne se limite pas à ce niveau purement technique. Tous les niveaux d'un Système d'Information peuvent être impactés (Kirsch Pinheiro, 2021). Dans une vision schématique (pour ne pas dire simpliste), on peut considérer que ces nouvelles technologies et les opportunités qu'elles apportent sont susceptibles d'influencer les infrastructures, mais également les services offerts, les applications et processus métiers, voire même le pilotage de ces systèmes (voir Figure 1).

Les nouvelles technologies, comme l'IoT, le Cloud et Fog/Edge Computing, apportent plus de dynamisme aux Systèmes d'Information et permettent ainsi d'envisager des SI plus souples, capables de mieux s'adapter aux changements. La notion de contexte, qu'on peut définir comme toute information pouvant caractériser une action ou une entité (Dey, 2001), peut alors contribuer à atteindre cette souplesse, devenue nécessaire pour mieux tenir compte de l'environnement dynamique vers lequel se dirigent petit à petit les Systèmes d'Information. L'information de contexte peut ainsi être capturée et remontée, niveau par niveau, tels des événements, et contribuer à l'adaptation de chaque niveau et du système dans sa totalité.

La Figure 1 montre que les technologies positionnées à gauche comme le Cloud Computing, Edge Computing et le Machine Learning permettent d'influencer une ou plusieurs couches du SIP sans préciser lesquelles particulièrement. Les différents dispositifs IT et l'IoT (IoT & Device) sont positionnés en bas car ils ont un impact direct sur la couche infrastructure. Les éléments placés verticalement à droite sont les préoccupations transversales qui doivent être prise en compte dans l'ingénierie des SIP : la gestion du contexte, la sécurité et les aspects « green IT ».

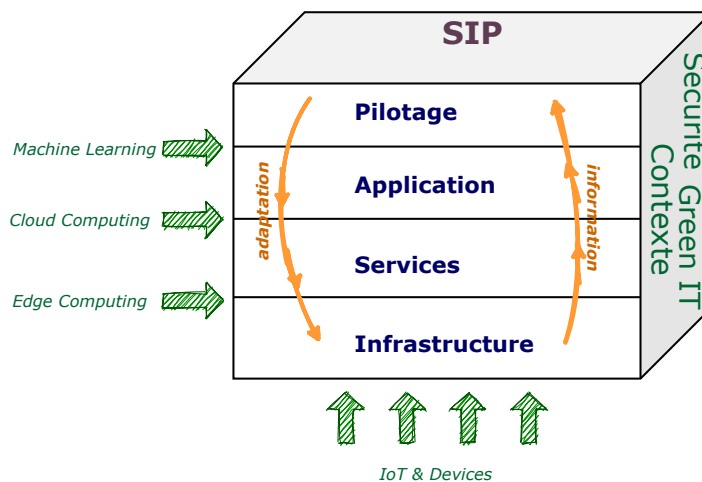


Figure 1. Vision schématique d'un Système d'information Pervasif

Grâce à ces nouvelles évolutions et pratiques, les SI peuvent s'étendre bien au-delà des limites physiques de l'organisation. Ils sont désormais accessibles partout, incluent des ressources internes et externes à l'organisation et peuvent même intégrer l'environnement physique. Les notions de ce qui est à l'intérieur ou à l'extérieur d'une entreprise sont devenues floues avec des processus utilisant des ressources autres que ceux du périmètre traditionnel de l'entreprise (Castro-Leon, 2014). L'environnement est devenu de plus en plus hétérogène, intégrant des dispositifs de nature très variée, qui peuvent en plus être mobiles, ce qui rajoute le dynamisme à l'hétérogénéité. Nous avons donc des SI qui sont de plus en plus confrontés à un environnement hétérogène et dynamique, intégrant des ressources de nature très variée (ressources Cloud, serveurs locaux, ordinateurs personnels, nano-ordinateurs, etc.) et des services tout aussi variés, pouvant appartenir à l'organisation elle-même, mais également à des organisations partenaires, voire même intégrer l'environnement physique entourant ces éléments et les utilisateurs. Il s'agit des systèmes pour lesquels on attend davantage de souplesse et une certaine « intelligence » afin de mieux réaliser les activités de l'organisation et les besoins de ses utilisateurs.

L'objectif de ce papier est de comprendre l'ingénierie nécessaire pour de tels systèmes et de définir quelles sont les compétences attendues dans l'ingénierie de ces Systèmes d'Information Pervasifs. Pour répondre à cette question, la section 2 précise la notion de « Systèmes d'Information Pervasifs » (SIP) considérée dans l'article ; les exigences attendues des SIP sont explicitées à la section 3. La discussion sur les compétences attendues pour cette nouvelle ingénierie est abordée à la section 4 en exploitant la verticalité du SIP et la convergence des disciplines autour de cette ingénierie, avant de conclure à la section 5.

2. Qu'est-ce qu'un système d'information pervasif ?

Plusieurs visions du terme « *Pervasive Information Systems* » existent. Une première tendance se résume par le fait que le mot clé « pervasive » est associé à l'information qui est omniprésente et qui est capturée n'importe où grâce à des capteurs dispersés dans l'environnement physique. Le système, dans ce cas, se conçoit comme un système orienté capteur pour capturer l'information n'importe où et n'importe quand. Cette tendance est représentée notamment par des systèmes issus de l'IoT, tels que (Xiao et al. 2017 ; Brahem et al. 2021 ; Lippi et al. 2021 ; Kim & Lee, 2021). Une autre tendance s'assimile plutôt aux environnements ubiquitaires, fournissant de manière autonome un confort à un ou plusieurs utilisateurs. Ces systèmes pervasifs sont souvent limités à une application, à un lieu et/ou à un ensemble de dispositifs technologiques intelligents mais sont rarement connectés aux métiers ou aux systèmes d'Information traditionnels d'une organisation. On parle alors de systèmes ou plutôt d'applications pervasives, dont on peut citer (Maass & Varshney, 2012 ; Cheraghi et al. 2021 ; Lalanda et al. 2021 ; Raychoudhury et al. 2013 ; Romero et al. 2010). Enfin, la tendance que nous considérons dans cet article est bien celle d'un Système d'Information qui devient pervasif, car il doit prendre en compte des événements qui se passent dans des environnements physiques et offrir

des services adaptés au plus près des utilisateurs. Dans cette tendance, nous pouvons citer (Kourouthanassis et al., 2010 ; Najar et al. 2014 ; Hauser et al. 2017).

Lorsqu'on considère un Système d'Information qui devient pervasif, la synergie entre les couches métiers du Système d'Information et l'infrastructure IT distribuée, dynamique et hétérogène devient alors un facteur essentiel des SIP. Or, traditionnellement, l'ingénierie des Systèmes d'Information maîtrisait la complexité des SI en couches et en « silo ». Cette vision traditionnelle compartimentée limite les interactions entre les différents niveaux et ne favorise pas la circulation d'information entre eux. Or l'introduction des nouvelles technologies et des nouvelles pratiques a bouleversé cette organisation. Par exemple, le caractère stratégique du choix entre un déploiement « *on-premise* » ou sur le Cloud, ou encore la migration des systèmes vers une architecture micro-services sont autant d'illustrations de ces bouleversements. La complexité de gestion de l'infrastructure IT n'est plus qu'une question technique mais devient contrainte par des politiques qui sont dirigées par le métier. De la même manière, l'infrastructure IT omniprésente dans l'environnement physique d'une organisation permet de capturer de l'information qui peut avoir une influence sur les processus métiers supportés par le système d'information et de l'organisation. Cette synergie oblige à remettre en cause la strate de couches cloisonnées dans laquelle s'est construite l'ingénierie des SI et de penser le système d'information pervasif selon sa dimension verticale (verticalité) du métier à l'infrastructure IT de manière intégrée (voir la Figure 1).

3. Quelles sont les exigences attendues des Systèmes d'Information Pervasifs ?

Après avoir introduit notre vision du système d'information pervasif, nous allons discuter des exigences qui seront attendues par des SIP afin de mieux identifier les problèmes et enjeux à résoudre. En effet, différentes exigences ont été mise en avant dans (Najar et al. 2014), dont certaines nous semblent particulièrement pertinentes en ce qui concerne l'ingénierie des Systèmes d'Information Pervasifs.

La première exigence attendue est la « *sensibilité au contexte* ». Déjà soulignée par (Kourouthanassis et al. 2010), il s'agit de la capacité d'un système à s'adapter à l'environnement qui l'entoure (Baldauf et al. 2007). Le SIP en tant qu'environnement ubiquitaire doit percevoir l'évolution de son environnement d'exécution et s'adapter en conséquence. La connaissance du contexte est utilisée pour obtenir cette capacité.

La deuxième est celle de « *la gestion de l'hétérogénéité* ». En effet, le SIP doit prendre en charge une variété très large de dispositifs techniques et de services proposés à l'utilisateur ou exécutés dans ces environnements physiques. La gestion de l'hétérogénéité est complexe mais primordiale.

La troisième exigence est relative à la « *transparence* » que l'on devrait retrouver dans l'Informatique Ubiquitaire. Comme l'a souligné Weiser (1991), l'Informatique Ubiquitaire devrait être invisible pour son utilisateur, disparaître dans l'environnement sans être distinguable de celui-ci. Le SIP en tant qu'environnement ubiquitaire doit cacher la complexité et l'hétérogénéité aux utilisateurs. Derrière cette notion de transparence se cache aussi la facilité d'utilisation d'un système dont la

manipulation ne doit pas demander d'effort particulier d'un point de vue cognitif, comme le souligne (Bell & Dourish, 2007).

La quatrième exigence concerne la « *satisfaction des exigences* ». Le SIP en tant que SI doit répondre aux besoins de l'utilisateur ou du métier n'importe où et n'importe quand. Il s'agit avant tout de rendre l'utilisateur plus productif, de proposer les moyens les plus adaptés pour satisfaire ses besoins, de manière à lui permettre de focaliser davantage sur les tâches génératrices de valeur ajoutée pour lui ou le métier.

La cinquième exigence attendue est « *l'adaptation* ». Le SIP doit pouvoir gérer la variabilité possible dans les services et les infrastructures techniques pour répondre aux besoins des utilisateurs et des métiers en toute circonstance. Il s'agit de pouvoir proposer un système qui puisse être perçu comme « intelligent » par sa capacité à s'adapter et à proposer le « bon service au bon moment ».

Les cinq exigences de base d'un SIP proviennent de la convergence entre celles relatives à un SI et celles associées aux environnements ubiquitaires ou pervasifs. La section suivante va se centrer sur l'ingénierie des SIP, et sa complexité de mise en œuvre par rapport à celle des SI traditionnels à cause de la *verticalité* qui a été introduite à la Section 2 et à la convergence des disciplines telles que IoT, périphériques intelligents, Cloud/Edge/Mobile Computing mais aussi le Machine Learning. En effet, la prise en compte de ces exigences engendre la verticalité mentionnée dans la Section 2, puisque chacun des niveaux illustrés dans la Figure 1 sera impacté à la fois par le respect de ces exigences en interne, mais également en réaction aux informations et aux adaptations issues/réalisées par les autres niveaux, et en influençant à son tour les autres niveaux.

4. Ingénierie des SIP : convergence des disciplines & verticalité

L'ingénierie des SIP consiste d'abord à expliquer les différentes compétences et connaissances attendues à chacune des couches de la Figure 1.

La couche « infrastructure » est de plus en plus complexe puisqu'elle intègre les technologies telles que Cloud/Edge et Mobile computing ainsi que IoT. Aujourd'hui pour maîtriser cette couche, il faut être capable de :

- gérer et adapter les infrastructures matérielles et logicielles utilisées traditionnellement dans les SI (matériel, plateforme d'exécution, réseau et middleware orienté service ou objet) ;
- gérer et adapter les infrastructures Cloud/Edge et Mobile computing et IoT pour étendre le SI vers les environnements pervasifs. Cette compétence nécessite des connaissances techniques sur l'hétérogénéité des dispositifs IT, leurs capacités mais aussi des connaissances sur les architectures micro-services et les techniques de virtualisation et les outils de déploiement associés ;

- Comprendre comment les politiques métiers peuvent/doivent impacter la gestion de l'infrastructure IT.

La couche « **services** » représente les services applicatifs (ou composants) qui sont déployés et exécutés sur l'architecture IT et qui permettent de supporter l'utilisateur et/ou le métier. L'orientation service est très connue au niveau des Systèmes d'Information et des applications. L'adoption d'une architecture micro-service remet au premier plan les architectures orientées services, pas au sens des technologies comme REST et SOAP, mais par rapport aux principes et aux qualités attendues par ces architectures, comme le souligne (Shadija et al. 2017). Les compétences et les connaissances utiles pour cette couche sont sur les architectures orientées services et les technologies existantes à base de service allant de la conception jusqu'à la partie déploiement et exécution sur l'architecture IT. Des middlewares et autres outils spécifiques sont utilisés pour généraliser et faciliter leur utilisation.

La couche « **application** » correspond à l'ensemble des applications constituant le Système d'Information. Chaque application est composée de services interconnectés entre eux par des règles applicatives. Le fonctionnement en silo dont ont bénéficié les SI pendant de longues années a contribué à la conception d'applications qui sont aujourd'hui considérées comme monolithiques et difficiles à faire évoluer. Le passage de celles-ci à une architecture micro-services est un sujet abordé par de nombreux travaux, tels que (Taibi & Systä, 2019 ; Da Silva et al., 2019 ; Balalai et al. 2015). Les compétences et connaissances requises sont relatives à la conception, la réalisation et la validation d'application selon une architecture orientée service. L'identification et la concrétisation de ces règles applicatives doivent être maîtrisées ainsi que celles de la variabilité du point de vue métier mais aussi du point de vue technique. La gestion de la variabilité et les possibilités d'adaptation, comme celles discutées dans (Baldauf et al. 2007 ; Lalanda et al. 2021 ; Raychoudhury et al. 2013 ; Romero et al. 2010), deviennent des connaissances majeures dans le contexte des SIP.

La couche « **pilotage** » permet d'avoir la vision globale des applications au niveau stratégique et au niveau métier. Traditionnellement, l'architecture d'entreprise, la gouvernance des SI et des processus métiers sont des thèmes de connaissances et de compétences utiles pour cette couche. Cette couche va devoir intégrer la valeur ajoutée des environnements pervasifs intégrées au niveau des couches : infrastructure IT, services et applications. A nouveau, l'exemple du passage à une architecture micro-service illustre bien l'impact de ces transformations, en principe techniques, sur l'architecture entreprise, comme le souligne, par exemple (Müssig et al. 2017).

Les couches pilotage, application, service et infrastructure doivent mettre tout en œuvre pour satisfaire les exigences des utilisateurs et du métier (quatrième exigence de la section 3).

La facette « **contexte** » mentionnée dans la Figure 1 est transversale aux autres couches. L'ingénierie de contexte, soulignée dans (Kirsch-Pinheiro & Souveyet, 2018), doit pouvoir s'appliquer à chacune des couches pour être capable de faire de l'adaptation. Les compétences et les connaissances nécessaires sont relatives à la

modélisation du contexte, l'acquisition du contexte, l'interprétation des données et aussi la prise en compte de la distribution du contexte. Cette ingénierie de contexte est primordiale dans les SIP puisque c'est cette fonctionnalité qui permettra de répondre aux exigences des SIP comme la sensibilité au contexte, la transparence et l'adaptation. L'architecture IT intégrera des dispositifs physiques ou logiciels (capteurs) pour acquérir les informations de contexte qui pourront ensuite être exploitées dans une ou plusieurs couches (flèche jaune « information » partant de « infrastructure » montant en traversant toutes les couches jusqu'au « pilotage » dans la Figure 1).

L'exploitation des informations de contexte venant des couches inférieures peut permettre à la couche concernée de réagir à la situation en changeant ou/et adaptant son propre fonctionnement, mais également la configuration de la couche inférieure (flèche jaune « adaptation » descendant de pilotage jusqu'à l'infrastructure).

Les informations de contexte capturées peuvent être utilisées par les techniques de ***d'Intelligence Artificielle et de Machine Learning*** pour prédire des comportements ou des situations indésirables qui pourraient être ainsi détectées et évitées. Même si la question de l'application de ces techniques à grande échelle (celle de tout un SI) persiste (Ben Rabah et al., 2020), il n'empêche que celles-ci offrent de nombreuses perspectives, comme l'illustrent des travaux tels que (Kim, & Lee, 2021 ; Lalanda et al. 2021 ; Rojas et al. 2020), faisant de ces techniques un pilier pour les SIP. Les compétences et connaissances sur les techniques dites de « Machine Learning » sont nécessaires pour mettre en œuvre l'adaptation désirée dans les SIP.

Tout aussi vertical que la notion de contexte elle-même, les SIP, de par leur intégration à l'environnement et leur caractère étendu, posent tout naturellement la question de la ***sécurité***, au sens large du terme, tant les implications dans ce domaine sont nombreuses. De la sécurité des informations à celle des services et des applications, du respect de la vie privée et autres interrogations nées de cette observation intensive du contexte, comme traité, par exemple, dans (Brahem et al. 2021), en passant par la notion de confiance aussi bien de l'utilisateur face au système, mais également des éléments de ces système entre eux, différents aspects sont concernés et tous les niveaux sont touchés de manière transversale. Les compétences autour de la sécurité se montrent ainsi de plus en plus nécessaires pour l'ingénierie des SIP.

Dans le même ordre idée, les préoccupations du cout énergétique des solutions adoptées tant du point de vue du matériel que du logiciel et de l'informatique durable ne doivent pas être exclues des SIP ainsi que son intégration dans un environnement plus écologiquement responsable (Sarkis, J., Koo, C. & Watson, R.T. (2013)). La facette « ***green*** » est aussi une préoccupation transversale ; c'est pour cette raison que les compétences autour de ***l'informatique durable (green)*** sont des compétences incontournables pour l'ingénierie des SIP.

Comme on peut le constater, la mise en œuvre des SIP nécessite des connaissances et des compétences dans plusieurs disciplines qui vont du pilotage du SI jusqu'aux infrastructures techniques et la maîtrise des nouvelles technologies au niveau infrastructure comme IoT, Cloud/Edge/Mobile Computing.

De plus, la synergie de toutes ces couches, par la boucle « information-adaptation » ne peut se faire que si, d'une part, l'ingénierie de contexte et les techniques de IA et Machine Learning sont maîtrisées et, d'autre part, par la verticalité des couches.

5. Conclusions

Les Systèmes d'Information Pervasifs doivent se voir comme une nouvelle classe de Système d'Information où l'on doit prendre en compte de manière fortement intégrée les environnements physiques outillés de dispositifs technologiques pour améliorer le métier, le support aux utilisateurs, et adapter au mieux la réponse du système d'information aux changements de l'environnement. Cet article montre que cette nouvelle classe remet en cause l'organisation en « silo » des couches décrivant les Systèmes d'Information. Aujourd'hui, les exigences en matière de SIP montrent que la synergie des couches est primordiale et que cette verticalité doit être explicite et complètement maîtrisée. Enfin, l'ingénierie des SIP implique la convergence de plusieurs domaines : SI, contexte, sécurité, informatique durable, IA et Machine Learning et la maîtrise de nouvelles technologies comme Cloud/Edge/Mobile Computing et IoT. On est donc face à des systèmes profondément pluridisciplinaires, où des compétences dans ces nombreux domaines s'avèrent nécessaires. Cette pluridisciplinarité, associée à la verticalité, interroge sur les modèles, méthodes et méthodologies nécessaires à l'ingénierie des SIP. Celle-ci, tout comme ces systèmes, sera profondément marquée par cette verticalité et cette pluridisciplinarité.

Bibliographie

- Baldauf, M., Dustdar, S., Rosenberg, F. (2007): A survey on context-aware systems. *International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing* 2(4), 263-277.
- Bell, G., Dourish, P. (2007): Yesterday's tomorrows: notes on ubiquitous computing's dominant vision. *Personal and Ubiquitous Computing*, 11 (2), Jan. 2007, 133-143.
- Ben Rabah, N., Kirsch Pinheiro, M., Le Grand, B., Jaffal, A., Souveyet, C. (2020): Machine Learning for a Context Mining Facility. 16th Workshop on Context and Activity Modeling and Recognition, 2020 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops), 678-684.
- Brahem, M., Scerri, G., Anciaux, N., Issarny, V. (2021): Consent-driven data use in crowdsensing platforms: When data reuse meets privacy-preservation. 2021 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom), IEEE, 130-139.
- Castro-Leon, E. (2014): Consumerization in the IT service ecosystem. *IEEE IT Professional*, 16(5), September/October 2014, 20–27.
- Cheraghi, S., Namboodiri, V., Aarsal, G. (2021) : CityGuide: A Seamless Indoor-Outdoor Wayfinding System for People with Vision Impairments. *Mobile and Pervasive Assistive Technologies (MPAT 2021)*, 2021 IEEE Int. Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops and other Affiliated Events (PerCom Workshops), 105-110.

- Dey, A. (2001): Understanding and using context. *Personal and Ubiquitous Computing* 5(1), 4-7.
- Hauser, M., Günther, S. A., Flath, C. M., Thiesse, F. (2017): Designing Pervasive Information Systems: A Fashion Retail Case Study. *Proceedings of the 38th International Conference on Information Systems (ICIS 2017)*.
- Kim, H., Lee, D. (2021): TAP: A Transformer based Activity Prediction Exploiting Temporal Relations in Collaborative Tasks. *17th Workshop on Context and Activity Modeling and Recognition (CoMoRea 2021), 2021 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops and other Affiliated Events (PerCom Workshops)*, 20-25.
- Kirsch-Pinheiro, M., Souveyet, C. (2018): Supporting context on software applications: a survey on context engineering (Le support applicatif à la notion de contexte : revue de la littérature en ingénierie de contexte). *Modélisation et utilisation du contexte*, 2(1), ISTE OpenScience. <https://www.openscience.fr/Le-support-applicatif-a-la-notion-de-contexte-revue-de-la-litterature-en/>.
- Kirsch Pinheiro, M. (2021) : Apports de la Notion de Contexte à Différents Systèmes. *Habilitation à Diriger de Recherches, Université Paris 1 Panthéon Sorbonne*. Disponible sur : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-03122073> (dernière visite : avril 2021).
- Kourouthanassis, P. E., Giaglis, G. M., Karaiskos, D. C. (2010): Delineating 'pervasiveness' in pervasive information systems: a taxonomical framework and design implications. *Journal of Information Technology*, 25 (3), 273-287.
- Lalanda, P., Vega, G., Cervantes, H., Morand, D. (2021) : Architecture and pervasive platform for machine learning services in Industry 4.0. *PerCom Industry Track 2021, 2021 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops and other Affiliated Events (PerCom Workshops)*, 293-298.
- Lippi, M., Mariani, S., Zambonelli, F. (2021) : Developing a "Sense of Agency" in IoT Systems: Preliminary Experiments in a Smart Home Scenario. *17th Workshop on Context and Activity Modeling and Recognition (CoMoRea 2021), 2021 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops and other Affiliated Events (PerCom Workshops)*, 44-49.
- Maass, W., Varshney, U. (2012) : Design and evaluation of Ubiquitous Information Systems and use in healthcare. *Decision Support Systems*, 54(1), Dec. 2012, 597-609.
- Müssig, D., Stricker, R., Lässig, J., Heider, J. (2017): Highly Scalable Microservice-based Enterprise Architecture for Smart Ecosystems in Hybrid Cloud Environments. *Proceedings of the 19th International Conference on Enterprise Information Systems - Volume 1: ICEIS*, 454-459.
- Najar, S., Kirsch Pinheiro, M., Le Grand, B., Souveyet, C. (2014): A user-centric vision of service-oriented Pervasive Information Systems. *8th International Conference on Research Challenges in Information Science (RCIS 2014)*, IEEE, 359-370.
- Raychoudhury, V., Cao, J., Kumar, M., Zhang, D. (2013): Middleware for Pervasive Computing: A Survey. *Pervasive Mobile Computing*, 9 (2), 177-200.
- Rojas, J.A.R., Rosas, J., Shen, Y., Jin, H., Dey, A.K. (2020): Activity Recommendation: Optimizing Life in the Long Term. *IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom 2020)*, 1-10. Doi: 10.1109/PerCom45495.2020.9127358.

- Romero, D., Rouvoy, R., Seinturier, L., Carton, P. (2010) : Service Discovery in Ubiquitous Feedback Control Loops. In: Eliassen, F., Kapitza, R. (Eds.), 10th IFIP WG 6.1 International Conference on Distributed Applications and Interoperable Systems (DAIS) / International Federated Conference on Distributed Computing Techniques (DisCoTec), Lecture Notes in Computer Science, 6115, 112-125.
- Sarkis, J., Koo, C. & Watson, R.T. (2013) Green information systems & technologies – this generation and beyond: Introduction to the special issue. *Inf Syst Front* 15, 695–704 (2013). <https://doi.org/10.1007/s10796-013-9454-5>
- Shadija, D., Rezai, M., Hill, R. (2017): Towards an Understanding of Microservices. 2017 23rd International Conference on Automation and Computing (ICAC), 1-16. Doi 10.23919/ICoAC.2017.8082018.
- Weiser, M. (1991): The computer for the 21st century. *Scientific American*, 265(3), September 1991, 94-104.
- Xiao, B., Rahmani, R., Li, Y., Kanter, T. (2017): Edge-based interoperable service-driven information distribution for intelligent pervasive services. *Pervasive and Mobile Computing*, 40, Sept. 2017, 359–381.