Le Rôle des Ressources dans l'Evolution des Systèmes d'Information

Manuele Kirsch Pinheiro[1], Carine Souveyet[1]

1. Centre de Recherche en Informatique, Université Paris 1 Panthéon Sorbonne
90 rue de Tolbiac, 75013 Paris, France
Manuele.Kirsch-Pinheiro@univ-paris1.fr, Carine.Souveyet@univ-paris1.fr

RESUME. *L'introduction de nouvelles pratiques, comme le Cloud Computing, l'IoT ou le Fog Computing, transforme les SI et nous oblige à mieux considérer la position des ressources dans ces systèmes. Celles-ci sont devenues hétérogènes, dynamiques et assument un rôle de plus en plus stratégique dans les SI. Nous discutons ici le rôle des ressources dans l'évolution des SI vers des SI dits Pervasifs et proposons leur prise en charge lors de la conceptualisation de ces systèmes à travers une extension du cadre conceptuel de l'espace de services.*

ABSTRACT. *On this paper, we propose to extend the conceptual framework named Space of Service in order to consider the resources usage on the Information System (IS) evolution. Resources represent now a strategic aspect of IS, thanks to new practices such as Cloud Computing, IoT or Fog Computing. Such practices transform IS resources, that become more dynamic, heterogeneous, and whose usage becomes more strategic for organizations. Including resources on a conceptual analysis of IS turns into a necessity for following the evolution of IS into new Pervasive IS.*

Mots-clés : Systèmes d'Information Pervasifs, gestion de ressources, services.

KEYWORDS: *Pervasive Information Systems, resource management, services.*

1. Introduction

Les Systèmes d'Information (SI) sont en évolution. L'intégration de nouvelles technologies (*IoT*, *Cloud & Fog Computing*, micro-services, etc.) et des nouvelles pratiques (BYOD[1], consommation à la demande, etc.) a ouvert des nouvelles perspectives pour ces systèmes. Ceux-ci se retrouvent libérés des frontières de l'organisation. Ils s'externalisent, s'étendent désormais sur l'environnement physique, accompagnent leurs acteurs où qu'ils soient. On assiste à une transformation majeure dans laquelle les SI d'aujourd'hui deviennent petit à petit des SI Pervasifs (SIP). A la différence des SI traditionnels, les SIP visent un environnement dynamique et hétérogène, composé d'une multitude d'artefacts capables de percevoir le contexte

[1] *Bring Your Own Device*, pratique consistant à utiliser son matériel personnel (ordinateur portable, tablette, smartphone…) en entreprise.

de l'utilisateur et de gérer sa mobilité ; ils s'intègrent progressivement à l'environnement physique et prônent une interaction continue avec l'utilisateur, afin de mieux répondre à leurs besoins (Kourouthanassis et Giaglis, 2006).

Cette nouvelle génération des SI manque encore d'outils conceptuels permettant de mieux maitriser sa complexité, ouvrant la voie à une meilleure gestion dans sa globalité. Des initiatives existent pourtant (Rao et Angelov, 2009 ; Kourouthanassis *et al.*, 2010), dont la notion d'espace de services (Kirsch Pinheiro *et al.*, 2013). Celle-ci se présente comme un cadre conceptuel permettant d'analyser un SIP tout en faisant abstraction de l'hétérogénéité inhérente à ces systèmes. Elle fonde son analyse sur deux abstractions majeures : les services (les services offerts par le système) et le contexte (les éléments de contexte observables dans l'environnement). Or un troisième élément manque dans cette analyse : les ressources disponibles.

L'introduction des ressources de plus en plus hétérogènes et dynamiques, comme le *Cloud Computing* (Mell et Grance, 2011) et l'*IoT* (Gubbi *et al.* 2013), permet aujourd'hui d'envisager un usage opportuniste des ressources disponibles, tel que soutenu par le *Fog Computing* (Villari et al. 2016) ou les grilles pervasives (Parashar et Pierson, 2010). La gestion de ressources devient ainsi un axe de réflexion stratégique pour les SI. La conceptualisation des nouveaux SI Pervasifs doit donc prendre en considération ce nouvel axe au même titre que les services proposés par le système. Nous proposons ainsi d'étendre le cadre conceptuel des espaces de services (Kirsch Pinheiro *et al.*, 2013) afin de tenir compte de la disponibilité des ressources pour l'exécution des services proposés dans le cadre d'un SIP.

Cet article s'organise comme suit : dans la section 2, nous discutons la gestion des ressources sur les SI ; dans la section 3, nous présentons notre extension de l'espace de service et nous l'illustrons par un exemple dans la session 4 ; avant de conclure dans la section 5.

2. La gestion de ressources dans les SI

Pendant des années, la notion de ressources permettant l'exécution de services n'a reçu que peu d'attention dans la modélisation et la conceptualisation des SI. Ceci s'explique en grande partie par le fait que les ressources disponibles dans un SI étaient majoritairement stables et homogènes. On parle notamment des « *data centers* » et de structures semblables, où tous les calculs (c.a.d. l'exécution des services proposés par le SI) ont lieu. Les ressources n'étaient ainsi pas perçues comme quelque chose de stratégique pour le SI : quel que soit le service, il serait exécuté dans ces structures avec une infrastructure plutôt stable. Or l'introduction du *Cloud Computing*, et plus récemment du *Fog Computing*, change la perception de ces ressources.

Le modèle économique associé au *Cloud Computing* (Mell et Grance, 2011) permet la mise en place d'une analyse stratégique sur l'usage des ressources internes versus la « location » des ressources sur le *cloud*. Contrairement aux ressources internes à l'organisation, les ressources sur le *cloud* sont perçues comme ayant un faible coût de maintenance, adoptant un modèle à la demande où on peut adapter sa consommation en fonction de ses besoins et ne payer que les ressources effectivement

consommées. Cependant, l'adoption du *cloud* est également accompagnée de quelques craintes liées à l'externalisation des données et de leur traitement. Ces craintes concernent notamment la sécurité, la confidentialité ou encore la latence réseau. La dépendance envers un fournisseur extérieur peut également inquiéter pour certains services de l'organisation, tout comme les coûts de ce nouveau modèle de consommation à long terme. Le choix entre l'usage des ressources locales à l'organisation ou l'adoption d'un modèle *cloud* pour l'exécution de certains services devient alors stratégique, en plus de technique.

Parallèlement, l'introduction croissante de ressources IoT pose la question du traitement des données issues de ces dispositifs. Certains travaux suggèrent l'usage des plateformes *cloud* pour ce traitement (Gubbi *et al.,* 2013 ; Mulfari *et al.,* 2015), alors que d'autres suggèrent l'usage du *Fog Computing* afin de contrer les limitations associées au *cloud* (Chen *et al.,* 2017 ; Villari *et al.*, 2016 ; Steffenel et Kirsch Pinheiro, 2015). Le *Fog Computing* peut être vu comme un nouveau paradigme permettant la distribution des calculs, du stockage et de la gestion de services au plus proche de l'utilisateur final, tout au long du continuum entre le *cloud* et les objets (IoT) et les terminaux (Chen *et al.,* 2017). D'autres concepts semblables, comme les grilles pervasives (Parashar et Pierson, 2010) ou le *Mobile Cloud* (Wang *et al.,* 2018), suggèrent l'usage de ressources environnantes (dont, par exemple, des ressources mobiles) pour une exécution opportuniste de services. Tous ces modèles permettent d'envisager l'usage des ressources autres que ceux des *data centers* ou des plateformes *cloud* pour l'exécution de services, ouvrant la perspective d'une rationalisation de l'usage des ressources disponibles.

On rajoute à cela la tendance actuelle vers un usage accru des micro-services dans les organisations, lesquels prônent un découpage plus fin des fonctionnalités permettant, par la même occasion, un déploiement plus aisé des applications (*e.g.* Mulfari *et al.*, 2015 ; Villari *et al*. 2016). Toutes les conditions sont ainsi réunies pour qu'on puisse déployer de manière plus ou moins transparente les services offerts par un SI sur des ressources aussi variées que les ressources *cloud* (privé ou public), celles des *data centers*, des dispositifs réseaux, IoT, ou encore des terminaux mobiles.

Toutes ces évolutions ont transformé la nature des ressources disponibles dans les SI. Ces ressources sont devenues davantage réparties, hétérogènes, disposées dans une infrastructure devenue elle-même plus dynamique. Le placement des services sur ces ressources devient ainsi un problème non-trivial. Ce placement peut être associé à la gestion de ressources, une question communément abordée par la communauté HPC (*High Performance Computing*), où des nombreux travaux sur l'ordonnancement de tâches ont été proposés, aussi bien sur les grappes et grilles de calculs, que sur les plateformes *cloud* (Wang *et al.,* 2018 ; Tyagiand et Gupta, 2018 ; Singh et Chana, 2016 ; Bessai, 2014 ; Maurer *et al.,* 2012). Dans les environnements pervasifs aussi, cette question a été abordée (Estublier *et al.*, 2012 ; Villari *et al.*, 2016). Par exemple, Villari *et al.* (2016) soutiennent un déploiement opportuniste d'applications, décomposées en micro-services, entre de ressources sur le « *edge* » (c.a.d. en bordure du SI, plus à proximité de l'utilisateur) et celles sur le *cloud*.

De même, des nombreuses outils et méthodes d'observation (monitoring) et de gestion de ressources sont utilisés/proposés aussi bien pour les infrastructures cloud que pour les centres de calcul (Alhamazani *et al.*, 2015 ; Da Cunha Rodrigues et al., 2016). A titre d'exemple, on peut citer Ganglia[2], pour l'observation et le suivi des ressources, ou encore Globus[3], pour la gestion de ressources sur les grilles et grappes de calcul. Ce genre d'outil (Alhamazani *et al.*, 2015 ; Da Cunha Rodrigues et al., 2016) reste bien souvent cantonné au seul niveau technique. Cette gestion ne se fait pas en coordination étroite ou en lien avec la direction stratégique au niveau SI.

Cependant, même si plusieurs travaux visent notamment les mécanismes et les algorithmes d'ordonnancement de tâches, parfois au détriment d'une vision plus systémique, ces travaux illustrent bien le challenge que représente la gestion des ressources. Celle-ci peut assumer dès à présent un rôle stratégique pour les SI dans la rationalisation de ces ressources devenues dynamiques et hétérogènes. La prise en charge des ressources disponibles dans la conceptualisation des SI devient alors un élément essentiel pour leur transformation vers les SIP.

3. L'espace de services et la gestion des ressources

La notion de services est une notion communément utilisée pour la conceptualisation de SI. Rao et Angelov (2009), par exemple, adoptent une perspective orientée service dans leur cadre conceptuel, afin de mieux centrer leur analyse sur l'offre de services et pas uniquement sur les technologies utilisées pour cette offre. Leur cadre offre une vision holistique des SIP en 4 éléments (*infostructure*, *devices*, *interfaces*, *smart spaces*) dont l'objectif serait d'analyser la chaîne de création de la valeur ajoutée dans ces systèmes. On voit apparaître dans le cadre de Rao et Angelov (2009) la notion d'infrastructure de communication (à travers l'élément *infostructure*) et celle de terminal (l'élément *device*), mais leur analyse est entièrement tournée vers la création de la valeur ajoutée et donc vers le consommateur et son expérience. C'est donc l'infrastructure et le terminal d'accès aux services par ce consommateur qui sont considérés et pas forcément ceux nécessaire à exécution du service. Leur caractère mobile et embarqué est pris en considération, mais pas la disponibilité des ressources, ni leurs capacités à offrir un certain service. Rao et Angelov (2010), tout comme Kourouthanassis *et al.* (2010), ne considèrent pas le rôle des ressources dans l'offre de services, assumant implicitement que l'exécution des services proposés est garantie, sans considérer les ressources nécessaires pour cela.

Afin de palier à ce manque d'une vision conceptuelle des ressources dans les SIP, nous proposons ici d'étendre la définition d'espace de services afin de tenir compte des ressources disponibles. L'objectif d'une telle conceptualisation est d'offrir une vision globale d'un SIP, permettant ainsi une meilleure gestion de ces systèmes et de leurs éléments, tout en faisant abstraction des technologies impliquées, gardant ainsi une certaine transparence vis-à-vis de l'hétérogénéité de l'environnement.

---

[2] http://ganglia.sourceforge.net (dernière visite : 15 avril 2019)
[3] https://www.globus.org (dernière visite : 15 avril 2019)

La notion d'espace de services (Kirsch Pinheiro *et al.,* 2013) repose sur deux abstractions majeures : les *services*, aussi nommés *entités actives*, et le *contexte*, vu à travers les *capteurs*, aussi nommés *entités passives* (car fournissant de l'information). Ces abstractions correspondent en réalités aux *rôles* joués par les éléments composant un SI, et pas forcément aux éléments eux-mêmes. En effet, différents éléments participent au bon fonctionnement d'un SI. Ces éléments peuvent avoir un rôle plus actif, offrant des services au système, mais aussi un rôle plus passif, permettant l'observation de l'environnement autour de lui, voir les deux, offrant à la fois des services et des informations sur l'environnement (environnement physique, d'exécution ou même organisationnel). La notion d'espace de services permet ainsi de conceptualiser ces éléments à travers les rôles qu'ils jouent auprès d'un SI, ce qui permet de faire plus facilement abstraction de la vraie nature de ces éléments. Ceux-ci peuvent jouer différents rôles, ils seront alors considérés sous l'angle de leurs rôles, à la fois comme une entité passive (puisqu'il est capable d'observer l'environnement) et comme une entité active (puisqu'on peut lui associer certains services). De ce fait, lorsqu'on parle d'un capteur, il ne s'agit pas forcément d'un élément permettant uniquement l'observation de l'environnement (*e.g.* un simple capteur de température intégré à l'environnement physique), il s'agit surtout d'un élément qui *peut aussi* offrir ces informations (*e.g.* un tel capteur sur un RaspberryPI). Il n'est pas nécessairement limité à cela, mais il peut aussi jouer ce rôle.

Ainsi, dans sa définition originale (Kirsch Pinheiro *et al.,* 2013), la notion d'espace de services permet une analyse sur ces deux rôles : les *services,* représenté sur l'équation (1), et le *contexte,* représenté sur l'équation (2). A travers les services, la notion d'espace de services permet de conceptualiser les fonctionnalités $\mathcal{F}$ offertes par un SI à ses utilisateurs pour satisfaire un ensemble d'intentions I. La notion de contexte permet de représenter les éléments de contexte observables dans l'environnement (physique et organisationnel), symbolisés par l'ensemble d'observations O_{cpi}. On peut également associer à un service un contexte requis ($\mathcal{CXR}$), décrivant en quelque sorte la situation idéale dans laquelle le service a plus de chances de satisfaire ses objectifs, et un contexte d'exécution ($\mathcal{CX}$), décrivant les conditions dans lesquelles le service s'exécute. On peut alors se demander : où s'exécute un service ? C'est à ce niveau qu'intervient la notion de ressources. Ce rôle, jusqu'ici ignoré, doit désormais être pris en considération.

$$sv_i = \langle I, \mathcal{F}, \mathcal{CX}, \mathcal{CXR} \rangle \quad (1)$$

$$cp_i = \{ O_{cpi}, \mathcal{CX} \} \quad (2)$$

Comme on peut observer dans l'équation (1), nous avons pu généraliser la notion de service à travers ses fonctionnalités et son intention, faisant ainsi abstraction des technologies utilisées. Au-delà des aspects purement techniques, la notion de ressource peut elle aussi être généralisée. Une ressource peut représenter une ressource informatique (un serveur, un ordinateur portable, une machine virtuelle…), comme elle peut également représenter un collaborateur. Toutes les deux sont capables de réaliser un service pour le compte du SI, participant ainsi au bon fonctionnement du système dans sa totalité. Comme les rôles dans les systèmes de

workflow autorisent (ou non) l'exécution d'une tâche par un collaborateur, l'idée serait de représenter cette possibilité d'autoriser (ou non) l'exécution d'un service par une ressource, quelle que soit sa nature, en fonction de ses capacités.

En explicitant la notion de ressource dans l'espace de services, on espère pouvoir considérer le placement des services proposés par le SIP sur les ressources, et pouvoir éventuellement le faire de manière dynamique, tenant compte des ressources réellement disponibles à un instant t. Pour cela, la description d'une ressource doit permettre la mise en correspondance entre les services sollicités (et donc à exécuter) et les ressources disponibles, dans toute leur variété.

Afin de permettre ce placement, deux informations nous semblent primordiales : les *capacités* $\mathcal{C}a_i$ d'une ressource et ses *contraintes* $\mathcal{C}o_i$. Une ressource a des capacités d'exécution, en rapport aussi bien aux fonctionnalités qu'elle est capable d'exécuter, qu'à l'environnement d'exécution qu'elle offre. Prenons, par exemple, une machine virtuelle, elle offre un certain environnement pour l'exécution de services, lequel peut être caractérisé par un contexte d'exécution : nombre de cœurs, type de processeur, mémoire disponible, capacité de stockage, interfaces réseaux, etc. ; alors qu'un collaborateur peut être vu aussi à travers les fonctionnalités qu'il est autorisé à réaliser, en plus d'avoir un contexte qui lui est associé (*e.g.* sa localisation, les rôles qu'il peut jouer dans l'organisation, son niveau d'expertise...). L'équation (3) résume ainsi les capacités d'une ressource. Celles-ci sont vues à travers l'ensemble de fonctionnalités $\mathcal{F}$ dont une ressource est reconnue comme étant capable de réaliser, et à travers le contexte d'exécution $\mathcal{CXE}$ qu'elle offre. Il convient de signaler qu'en absence de fonctionnalités (c.a.d. un ensemble $\mathcal{F}$ vide), on considère qu'il n'y a aucune limitation connue ou souhaitée sur les fonctionnalités qu'une ressource est capable d'exécuter.

$$\mathcal{C}a_i = < \mathcal{F}, \mathcal{CXE} > \quad (3)$$

Les contraintes se présentent comme des exigences non-fonctionnelles, de nature notamment organisationnelle, propres à une ressource. Par exemple, un certain dispositif (*e.g.* un Raspberry Pi) peut avoir son usage limité à un certain département (pour des raisons de sécurité). En d'autres termes, l'usage de cette ressource impose au service souhaitant l'utiliser d'appartenir à ce département précis. Il s'agit donc d'une contrainte que la ressource impose aux services souhaitant l'utiliser. A cet ensemble de contraintes $\mathcal{C}o_i$ s'ajoute un ensemble de propriétés $\mathcal{P}r$, décrivant les propriétés d'une ressource. Ces propriétés peuvent être vues comme de métadonnées complétant la description d'une ressource sur différents aspects, tel que le positionnement de la ressource dans l'organisation (par exemple, l'unité d'appartenance de la ressource, son année d'acquisition/entrée dans le système, etc.). En outre, une ressource possède, tout comme les services, un contexte $\mathcal{CX}$ dans lequel elle se trouve, permettant ainsi de décrire une ressource r_i, à un instant t, comme indique l'équitation (4) :

$$r_i^t = < \mathcal{C}a_i, \mathcal{C}o_i, \mathcal{P}r, \mathcal{CX} > \quad (4)$$

Afin de permettre une réelle réflexion sur l'usage des ressources, voir leur gestion de manière automatisée, il est également nécessaire de revoir la description des services pour qu'une mise en correspondance entre les services à exécuter et les ressources disponibles soit possible. Dans la description d'un service représentée dans l'équation (1), on dispose d'un contexte requis par le service par rapport à son client. Il s'agit d'indiquer une situation favorable (côté client) pour la réussite du service. Cependant aucun élément dans cette définition permet d'indiquer les possibles contraintes d'un service côté serveur. L'hypothèse sous-jacente est que la ressource devant exécuter le service existait déjà et lui était réservée au préalable. C'est cette hypothèse qui est remise en cause avec l'évolution des ressources dans les SIP. Il devient ainsi nécessaire de revoir cette description d'un service en lui ajoutant un ensemble de contraintes $\mathcal{CoR}$ imposées par ce service aux ressources pouvant assurer son exécution.

Puis, les ressources pouvant elles-mêmes avoir des contraintes, comme l'indique l'équation (4), il serait également opportun de permettre une description plus complète de ces services. Pour cela, un ensemble de propriétés $\mathcal{P}r$ est ajoutée à la description d'un service. L'objectif de cet ensemble est de permettre l'indication de propriétés autres que les fonctionnalités et l'intention dans la description d'un service. Comme les propriétés décrivant les ressources, celles-ci peuvent être vues comme des métadonnées décrivant les services sous plusieurs aspects, dont les aspects organisationnelles (*i.e.* positionnement du service dans l'organisation). Ces informations peuvent ainsi être utilisées pour limiter le placement de ces services sur certaines ressources à travers les contraintes associées à celles-ci.

On arrive ainsi à trois ensembles qui vont définir la notion d'espace de services, illustrées à travers la Figure 1 : un ensemble $\mathcal{R}^t$ de ressources disponibles à un instant t, représenté dans l'équation (5) ; un ensemble $\mathcal{A}^t$ d'entités actives (*i.e.* les services) proposés par le système à un instant t, visible dans l'équation (6) ; et un ensemble $\mathcal{P}^t$ d'entités passives (*i.e.* les capteurs), symbolisées par l'équation (7), représentant les capteurs permettant l'observation de l'environnement. Ces trois ensembles forment l'espace de services, représenté dans l'équation (8), lequel est un espace composé d'entités pouvant être soit des entités actives, représentant les services offerts par le système ; soit des entités passives, représentant les capteurs utilisés pour observer le contexte ; soit des ressources utilisées pour exécuter les services dans un contexte donné. Il est important d'observer que chaque entité, soit elle active (sv_i), passive (cp_i) ou une ressource (r_i^t), représente un rôle joué par un élément présent, à un instant t, dans le système. Par exemple, dans la Figure 1, la ressource r_3, au centre de l'image, peut représenter un RaspberryPI exécutant un service sv_3 et permettant l'observation de l'humidité de l'air (cp_6). Du même, la ressource r_2 permet d'observer plusieurs informations sur l'utilisateur (GPS, préférences), étant ainsi perçue non seulement non seulement comme une ressource, mais aussi comme une entité passive. Un même élément peut ainsi être perçu à travers les différents rôles qu'il joue dans le système, offrant une abstraction totale sur la vraie nature de l'élément. Nous avons de ce fait un partage de responsabilités entre les rôles, et donc, les entités : les ressources permettent l'exécution des entités actives (services), les entités passives (capteurs) sont là pour observer ces ressources et les entités actives.

$$\mathcal{R}^t = \{ r_i^t \}, \text{ où } r_i^t = < Ca_i , Co_i , Cx > \quad (5)$$

$$\mathcal{A}^t = \{ sv_i \}, \text{ où } sv_i = <I, \mathcal{F}, Cx\mathcal{R}, Co\mathcal{R}, \mathcal{P}r, Cx> \quad (6)$$

$$\mathcal{P}^t = \{ cp_i \}, \text{ où } = \{ O_{cpi} , Cx\} \quad (7)$$

$$\xi^t = \{ e_i \mid e_i \in \mathcal{A}^t \vee e_i \in \mathcal{P}^t \vee e_i \in \mathcal{R}^t \} \quad (8)$$

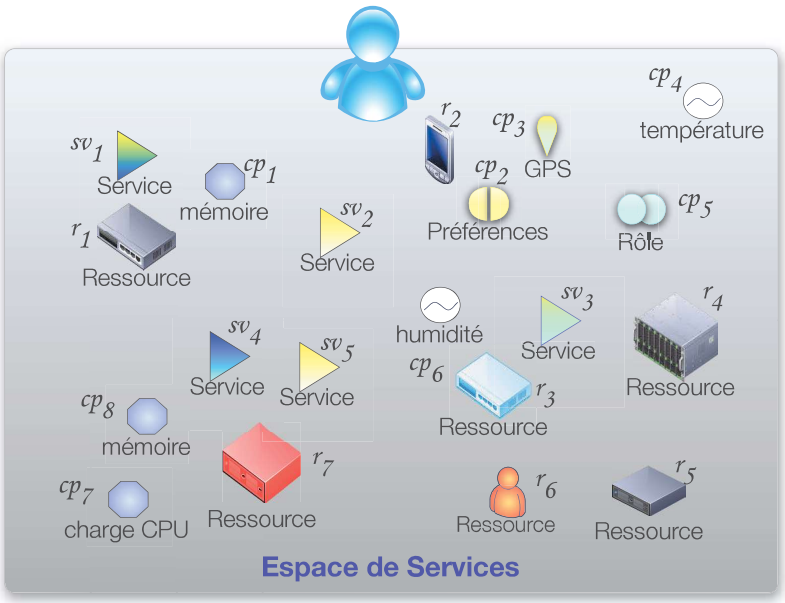

Figure 1. Représentation d'un espace de services avec ses composants.

On observe à travers les équations (5) à (8) que, contrairement à la proposition originelle (Kirsch Pinheiro *et al*., 2013), toutes ces définitions prennent désormais en considération l'aspect temporel : il s'agit de la vision d'un ensemble d'entités à un instant *t*. A travers cette vision temporelle, c'est la dynamicité de l'espace de service qui est mise en avant, avec des entités qui peuvent intégrer cet espace et d'autres qui peuvent disparaître. A travers cet aspect, c'est aussi la notion de disponibilité qui apparaît. On parle de ressources disponibles, de services disponibles et surtout, on admet dès le départ que ces ensembles vont évoluer au fil du temps. Cette idée d'évolution est une condition *sine quoi non* pour la prise en compte des ressources, puisque c'est le dynamisme de ces ressources qui motive en grand partie qu'elles soient désormais considérées dans la conceptualisation des SIP.

L'espace de services ainsi revu représente un cadre conceptuel permettant la conceptualisation d'un SIP à travers ces trois éléments fondateurs : les services, les ressources et le contexte. Ce cadre permet d'abstraire la complexité et l'hétérogénéité de l'environnement, et notamment des ressources qui l'intègrent. Celles-ci ont ainsi été intégrées à ce cadre, permettant désormais une analyse de ces éléments de manière transparente (c.a.d. indépendante des technologies impliquées).

4. Illustration

Afin d'illustrer l'intérêt de nous propos, nous allons considérer le cas d'un aéroport en guise d'exemple. Les organisations devant gérer ce genre d'infrastructure de transport sont souvent dotées d'un SI plutôt complexe dans lequel multiples technologies, partenaire et contraintes cohabitent. Ces SI sont amenés à proposer différents services à leurs consommateurs, mais aussi à leurs propres employés et à leurs partenaires (compagnies aériennes, prestataires, fournisseurs, etc.). Ces derniers peuvent proposer à leur tour des services qui peuvent (ou doivent) être intégrés au système. A ces services de nature IT, déjà très hétérogènes, s'ajoute une forte intégration à l'environnement physique, avec la gestion de halls et hangars, tapis, systèmes et portiques de sécurité, etc., qui rajoutent d'autres services mais également des multiples capteurs. En effet, l'observation de l'environnement physique faut de plus en plus partie du panorama de ces infrastructures : par exemple, l'observation de la température dans les halls et salles d'embarquement, du trafic passager dans les zones de contrôle, du flux bagage dans les tapis, des taux d'occupation des parkings, le volume passager dans les zones d'attente, etc. Toutes ces informations doivent être remontées grâce à l'intégration de capteurs divers et variés (capteurs de température, de mouvement, de passage, mais aussi cameras, dispositifs réseaux…).

A ces éléments s'ajoutent des ressources pour l'exécution des services tout aussi variées. On peut compter sur l'existence de serveur ou *data centers* propres à l'organisation, mais également sur la mise à disposition de ressources par des partenaires (notamment pour l'exécution de service proposés par ceux-ci), et sur des ressources qu'on peut louer sur des infrastructures cloud. A celles-ci, plus traditionnelles, s'ajoutent les ressources intégrées directement sur l'environnement qui peuvent aussi contribuer à l'exécution de certains services (*e.g.* ressources réseaux, IoT...). La prise en compte des différentes ressources pour l'exécution de services va également entrainer l'observation d'autres informations liées au contexte d'exécution de ces ressources (consommation électrique, indicateurs de performance, bande passante, etc.), notamment à travers l'usage d'outils de monitoring.

Une prise en main globale d'une telle variété d'éléments s'avère une tâche plutôt complexe. Des multiples décisions doivent être prises aussi bien d'un point de vu business que technique : quels services proposer ? dans quelles conditions ? où exécuter ces services ? quelles informations observer pour pouvoir les garantir ? Par ailleurs, certaines décisions peuvent être planifiées et programmées à l'avance, alors que d'autres viennent en réaction à l'état courant du système, voir à l'influence des facteurs extérieurs à celui-ci (grèves, tempêtes, retards, etc.). Par exemple, le placement de certains services (peut-être sous la forme de microservices) sur le cloud

peut relever aussi bien d'une décision purement business (*e.g.* réduire les coûts d'exploitation), mais aussi technique (*e.g.* éviter la surcharge ou contourner la panne d'un serveur). Pareillement, un afflux trop important de passagers peut rapidement surcharger l'infrastructure réseau et ainsi impacter le transfert des informations issues des capteurs ou l'usage des ressources réseau pour le prétraitement de certaines informations (scénario typiquement invoqué par le *fog computing*).

L'usage de la notion d'espace de service permettrait ici de simplifier la prise en main de ces systèmes par la conceptualisation de multiples espaces où différents services, ressources et éléments observables coexistent. On peut donc imaginer chaque hall, salle d'embarquement ou zone de l'aéroport comme un espace de services, et ainsi conceptualiser, en fonction de l'usage attendue, les services qui y seront proposés (par leurs fonctionnalités et leurs intentions) et dans quelles conditions ils le seront (le contexte requis). On peut également considérer les ressources qui pourront être utilisés pour l'exécution de ces services (*e.g.* machines virtuelles sur une infrastructure cloud ou sur un *data center*, un nanordinateur de type RaspberryPi intégré à l'environnement, ou même des terminaux portables, notamment dans le cas de services proposés sous la forme d'application mobiles). On va également pouvoir considérer les informations qui pourront être observées à partir de l'environnement et des ressources (*e.g.* température, humidité, nombre de passagers, charge CPU, bande passante, mémoire disponible, etc.). Une telle conceptualisation permettrait une meilleure gestion de ces espaces d'abord en amont, d'un point de vue business, mais également en aval, pour l'adaptation du système pendant son exécution. A travers notamment les ressources, on observe que la notion d'espace de service ne se limite pas à des éléments disposés dans une zone géographique précise, mais à une véritable conceptualisation au service du SI. Par exemple, on pourrait également conceptualiser des espaces des secteurs en fonction des secteurs d'activités de l'aéroport (accueil passager, traitement bagages, maintenance, sécurité…) ou encore du public visé (employé, consommateurs, prestataires…).

Il s'agit avant tout d'un cadre de réflexion permettant une meilleure prise en main des nouveaux SI de manière transparente, sans tenir particulièrement compte des différences technologiques entre les éléments considérés. Un décideur peut ainsi conceptualiser plus l'aéroport et les services proposés par son SI, réfléchir aux ressources qui seront mis à disposition de ce système et les informations qu'on pourra observer à partir de celui-ci, sans pour autant maîtriser tous les aspects techniques impliquant tous ces éléments.

5. Conclusions

Le choix de placement d'un service sur une certaine ressource dans les SI devient stratégique au fil et à mesure que le nombre et la nature des ressources pouvant être utilisées augmente et se diversifie. Il devient nécessaire de réfléchir au rôle de ces ressources dans les futurs SIP, lesquels se caractérisent justement par l'hétérogénéité et la dynamicité de leur environnement et de leurs ressources.

Dans cet article nous abordons cette question en proposant d'intégrer la notion de ressource dans la conceptualisation des SIP. Nous avons ainsi étendu la notion d'espace de services afin d'y représenter de manière explicite les ressources disponibles dans un SIP. Ce cadre conceptuel permet la conceptualisation de ces systèmes tout en faisant abstraction des technologies qui les caractérisent. Il s'agit avant tout d'un outil de conception offrant un langage unifié, aussi bien au niveau métier qu'au niveau technique. En effet, aussi bien au niveau technique, qu'au niveau métier, il est possible d'exprimer les services offerts par le système, les ressources disponibles pour l'exécution de ces services et de capteurs envisageables pour l'observation de l'environnement.

Ce cadre propose ainsi un langage commun entre ces niveaux, qui peuvent ainsi échanger autour de ces concepts. La représentation d'un espace de service permet au niveau métier de réfléchir aux services qui seront exécutés au niveau technique, et à ce dernier de remonter de l'information sur l'état du système au premier, lequel peut donc réagir et réfléchir à des possibles adaptations au niveau technique (voir Figure 2). L'espace de services se présente ainsi comme un outil d'aide à la décision pour le niveau métier, et un outil pour l'adaptation pour le niveau technique.

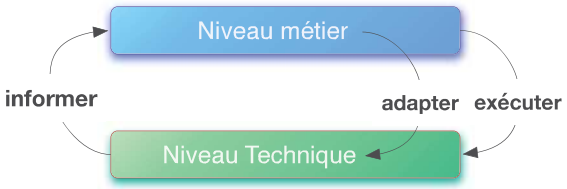

Figure 2. Interaction entre les niveaux métiers et technique.

Cependant, pour que l'application de ce cadre devienne plus aisée, et qu'ainsi son rôle de langage commun puisse être pleinement atteint, un important travail de méthodologie reste à faire. En effet, la définition d'espace de services originelle était accompagnée d'une méthodologie d'application (Najar et al., 2014), qui doit être révisée et complétée pour la prise en compte des ressources, en plus des services, à ces deux niveaux (métier, technique). Celle-ci devra tenir compte particulièrement de la dynamique et de la cohérence entre les niveaux, ce qui représente, à nous yeux, un challenge majeur pour la gestion des futurs SIP.

Bibliographie

Alhamazani, K., Ranjan, R., Mitra, K., Rabhi, F., Jayaraman, P. P., Khan, S. U., Guabtni, A., Bhatnagar, V. (2015). An overview of the commercial cloud monitoring tools: research dimensions, design issues, and state-of-the-art. *Computing*, vol. 97, n° 4, p. 357-377.

Bessai K. (2014). *Gestion optimale de l'allocation des ressources pour l'exécution des processus dans le cadre du Cloud*. Université Paris1 Panthéon-Sorbonne, 2014.

Da Cunha Rodrigues, G., Calheiros, R. N., Guimaraes, V. T., Santos, G. L. d., de Carvalho, M. B., Granville, L. Z., Tarouco, L. M. R., Buyya, R. (2016). Monitoring of Cloud Computing Environments: Concepts, Solutions, Trends, and Future Directions. *Proceedings of the 31st Annual ACM Symposium on Applied Computing (SAC 2016)*, ACM, p. 378-383.

Chen S., Zhang T., Shi W. (2017). Fog Computing. *IEEE Internet Computing*, vol. 21, n° 2, p. 4-6.

Gubbi J., Buyya R., Marusic S., Palaniswami M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, vol. 29 n° 7, p. 1645-1660.

Estublier J., Vega G., Damou E. (2012). Resource Management for Pervasive Systems. Ghose A., Zhu H., Yu Q., Delis A., Sheng Q. Z., Perrin O., Wang J., Wang Y. (Eds.), *Service-Oriented Computing - ICSOC 2012 Workshops*, Lecture Notes in Computer Science, vol 7759, Springer, p. 368-379.

Kirsch Pinheiro M., Le Grand B., Souveyet C., Najar S. (2013) Espace de Services : Vers une formalisation des Systèmes d'Information Pervasifs, *XXXIème Congrès INFORSID 2013 : Informatique des Organisations et Systèmes d'Information et de Décision*, 29-31 Mai 2013, Paris, France, p. 215-223.

Kourouthanassis P. E., Giaglis G. M. (2006). A Design Theory for Pervasive Information Systems. *3rd Int. Workshop on Ubiquitous Computing 2006*, Paphos, Cyprus, p. 62-70.

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*, vol. 25, n° 3, p. 273-287.

Maurer M., Brandic I., Sakellariou R. (2012). Self-Adaptive and Resource-Efficient SLA Enactment for Cloud Computing Infrastructures. *IEEE Fifth International Conference on Cloud Computing*, p. 368-375.

Mell P., Grance T. (2011), *The NIST Definition of Cloud Computing*. Recommendations of the National Institute of Standards and Technology. NIST Special Publication 800-145. https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-145.

Mulfari D., Fazio M., Celesti A., Villari M., Puliafito A. (2015). Design of an iot cloud system for container virtualization on smart objects. *3rd Workshop on CLoud for IoT (CLIoT 2015)*, in conjunction with the *European Conference on Service-Oriented and Cloud Computing (ESOCC 2015)*, *Communications in Computer and Information Science* (CCIS), vol. 567, Springer, p.33-47.

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*, p. 359-370.

Parashar M., Pierson J.-M. (2010). Pervasive Grids: Challenges and Opportunities. In: Li K.-C., Hsu C.-H., Yang L.T., Dongarra J., Zima H. (Eds.), *Handbook of Research on Scalable Computing Technologies*, IGI Global, p. 14-30.

Rao B., Angelov B. (2009). Pervasive Information Systems Value Chain: A Services Perspective. *International Journal of Innovation and Technology Management*, vol. 06, n° 01, p. 17-40.

Singh S., Chana I. (2016). A Survey on Resource Scheduling in Cloud Computing: Issues and Challenges Journal of Grid Computing, vol. 14, n° 2, p. 217-264.

Steffenel L., Kirsch-Pinheiro M. (2015). When the Cloud goes Pervasive: approaches for IoT PaaS on a mobiquitous world. *EAI International Conference on Cloud, Networking for IoT systems (CN4IoT 2015)*, LNICST, vol. 169, Springer, p. 347-356.

Tyagiand R., Gupta, S.K. (2018). A survey on scheduling algorithms for parallel and distributed systems. Mishra A., Basu A., Tyagi V. (eds), *Silicon Photonics & High Performance Computing. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 718, p. 51–64.

Villari M., Fazio M., Dustdar S., Rana O., Ranjan R. (2016). Osmotic Computing: A New Paradigm for Edge/Cloud Integration. *IEEE Cloud Computing*, vol. 3, n° 6, p. 76-83.

Wang T, Wei X, Liang T, Fan J (2018). Dynamic tasks scheduling based on weighted bi-graph in mobile cloud computing. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, vol. 19, p. 214–222.