

# L'ontologies d'entreprise pour la technologie blockchain

Nicolae Sfetcu

22.10.2019

Sfetcu, Nicolae, « L'ontologies d'entreprise pour la technologie blockchain », SetThings (February 1, 2019), URL = <https://www.setthings.com/fr/lontologies-dentreprise-pour-la-technologie-blockchain/>

Email: [nicolae@sfetcu.com](mailto:nicolae@sfetcu.com)



Cet article est sous licence Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0 International. Pour voir une copie de cette licence, visitez <http://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/>.

Ceci est une traduction partielle de :

Sfetcu, Nicolae, « Filosofia tehnologiei blockchain – Ontologii », SetThings (01.02.2019), MultiMedia Publishing (ed.), DOI: 10.13140/RG.2.2.25492.35204, ISBN 978-606-033-154-4, URL = <https://www.setthings.com/ro/e-books/filosofia-tehnologiei-blockchain-ontologii/>

L'ontologie d'entreprise établit une distinction claire entre le niveau de données, le niveau d'information et le niveau essentiel des transactions blockchain et des contrats intelligents. La méthodologie OntoClean (Guarino 1998) développée par Nicola Guarino et Chris Welty (Guarino, Oberle, et Staab 2009) analyse des ontologies basées sur des propriétés formelles, indépendantes des domaines (méta-propriétés), constituant la première tentative de formalisation des concepts d'analyse ontologique pour des systèmes informatiques. Les notions sont extraites de l'ontologie philosophique. Dans le Web sémantique, une propriété est une relation binaire. La distinction entre propriété et classe est subtile. Ainsi, une méta-propriété est une propriété d'une propriété ou d'une classe.

L'identité est fondamentale pour les ontologies des systèmes informatiques, y compris la modélisation conceptuelle de la base de données. Dans OntoClean, les critères d'identité sont associés à, ou portés par, certaines classes d'entités, appelées sortals. Un sortal est une classe dont les instances sont identifiées de la même manière. Les critères d'identification et de les sortals sont intuitivement destinés à répondre à la manière linguistique d'associer l'identité à certaines classes.

La conception de l'ontologie n'a de sens que lorsque le concepteur et le public ont une compréhension de base, mais fondamentale, du sujet de l'analyse, la blockchain. La blockchain se présente sous trois formes : publique, privée ou hybride. (Buterin 2015)

Outre la perspective des systèmes informatiques, l'ontologie de la blockchain doit également faire référence aux opérations et processus métier des entreprises adoptives potentielles. L'ontologie d'entreprise propose un ensemble de termes et de définitions pertinents du langage naturel. Les exemples bien connus de cadres ontologiques d'entreprises sont TOVE, EO et DEMO.

TOVE, l'acronyme du projet *TO*ronto *Virtual Enterprise*, est un projet de développement d'un cadre ontologique d'intégration d'entreprise basé sur et adapté à la modélisation d'entreprise.

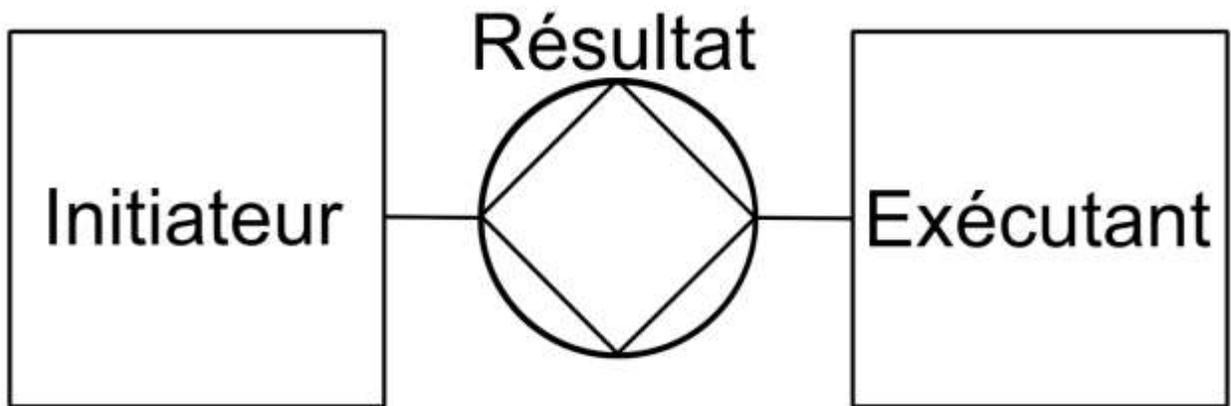
(Totland 1997) Les objectifs initiaux du projet étaient : (Fox 1992)

- Créer une représentation ou une ontologie partagée de l'entreprise que chaque agent de l'entreprise distribuée peut comprendre et utiliser
- Définir le sens de chaque description ou sémantique
- Implémenter la sémantique dans un ensemble d'axiomes permettant à TOVE de déduire automatiquement la réponse à de nombreuses questions « de bon sens » concernant l'entreprise, et
- Définir un symbole pour représenter un concept dans un contexte graphique.

Le projet vise à développer un ensemble d'ontologies intégrées pour la modélisation d'entreprise. Selon Ted Williams, le modèle est multi-niveau, couvrant des couches conceptuelles génériques, et applications. Les couches génériques et les applications sont également stratifiées et composées de micro-théories couvrant, par exemple, les activités, le temps, les ressources, les contraintes, etc., au niveau générique.

Les modèles d'entreprise TOVE sont présentés par Fox et al. en tant qu'approche d'ingénierie du savoir de deuxième génération. Une approche de l'ingénierie des connaissances de première génération « tire les règles des experts, tandis que la deuxième génération est l'ingénierie ontologique : elle développe des ontologies complètes pour tous les aspects d'une organisation qu'elle juge nécessaires (le besoin est décidé en fonction des exigences de compétence du modèle, les questions auxquelles le modèle devra répondre, soit par recherche ordinaire, soit par déduction). L'arrière-plan de TOVE est clairement l'ingénierie des connaissances et, dans une certaine mesure, l'intégration de l'ordinateur de production. » (Fox 1992)

Jan Dietz a mis au point dans les années 1980 une méthodologie de modélisation d'entreprise pour les transactions, ainsi que l'analyse et la représentation des processus métiers, qui fournit une compréhension cohérente de la communication, de l'information, de l'action et de l'organisation, et il est inspirée de la perspective langage/action introduite dans le domaine de l'informatique et de la conception de systèmes informatiques par Fernando Flores et Terry Winograd dans les années 1980 : (Flores et al. 1988) Méthodologie de la conception et de l'ingénierie pour les organisations (Design & Engineering Methodology for Organizations - DEMO). (J. L. G. Dietz 2001)



*Fig. 2. Le schéma du principe d'une transaction DEMO entre deux acteurs, avec le résultat correspondant.*

DEMO est basé sur des axiomes spécifiés explicitement caractérisés par une méthodologie de modélisation rigide (Van Nuffel, Mulder, et Van Kervel 2009) et se concentre sur la construction et l'exploitation d'un système plutôt que sur le comportement fonctionnel. Il souligne l'importance de choisir le niveau d'abstraction le plus efficace lors du développement du système informatique afin d'établir une séparation claire des préoccupations. (Nian et Chuen 2015) Parce que DEMO s'est avéré être une méthodologie utile pour formaliser des systèmes ambigus, incohérents ou incomplets, en particulier lorsqu'il s'agit de réduire la complexité de la

modélisation, (Wang, Albani, et Barjis 2011) peuvent être utilisés l'ontologie d'entreprise et DEMO pour décrire l'ontologie blockchain d'un point de vue statistique, infologique et essentiel. (de Kruijff et Weigand 2017)

La méthodologie offre une compréhension cohérente de la communication, de l'information, de l'action et de l'organisation, basée sur les principes suivants : (J. Dietz 1996)

- L'essence d'une organisation est qu'elle se compose de personnes dotées du pouvoir et de la responsabilité d'agir et de négocier
- La modélisation des processus métier et des systèmes d'information est une activité rationnelle qui conduit à l'uniformité
- Les modèles de protection des informations devraient être destinés à toutes les personnes intéressées
- Les informations doivent correspondre à leurs utilisateurs.

Ce concept s'est révélé être un nouveau paradigme de base pour la conception de systèmes informatiques, mettant en évidence ce que les gens font en communiquant, la réalité à travers le langage et comment la communication apporte une coordination à leurs activités. (Dignum et Dietz 1997)

DEMO est liée à la méthode d'analyse des informations en langage naturel (NIAM) développée par Shir Nijssen (Aaldijk et Vermeulen 2001) et à la modélisation objet (ORM) (J. L. G. Dietz et Halpin 2004) développées par Terry Halpin.

Le modèle ontologique d'une entreprise dans DEMO est constitué d'un ensemble intégré de quatre modèles d'aspect, chacun ayant une vision spécifique de l'entreprise :

- Modèle de construction (CM): composition, environnement, structure d'interaction et structure intersectionnelle

- Modèle de processus (PM): l'espace d'états et l'espace de transition de son monde de coordination
- Modèle d'action (AM): ensemble de règles d'action; et
- Modèle factuel (FM): l'espace d'états et l'espace de transition de son monde de production.

Une évolution importante dans l'histoire des bases de données a été la séparation des options d'implémentation du modèle conceptuel de la base de données (principe de l'indépendance des données). Une séparation similaire est très nécessaire pour le domaine blockchain. On peut adopter l'axiome de distinction de l'ontologie de l'entreprise comme base ontologique de cette séparation. (de Kruijff et Weigand 2017)

L'axiome de distinction de l'ontologie de l'entreprise distingue trois capacités humaines fondamentales : la performance, performa, informa et forma. (J. L. G. Dietz 2006) La compétence forma se réfère à des aspects de la forme de la communication et de l'information. Les actes de production au niveau forma sont de nature datalogique: ils stockent, transmettent, copient, détruisent, etc., des données. Informa fait référence aux aspects de contenu de la communication et de l'information. Les actes de production au niveau forma sont de nature infologique, ce qui signifie qu'ils reproduisent, déduisent, raisonnent, calculent, etc., en obtenant une abstraction de l'aspect de forma. Performa fait référence à apporter de nouvelles choses, originales, directement ou indirectement par le biais de la communication. Les actes de communication au niveau de performa sont liés à l'évocation ou à l'évaluation de l'engagement ; ces actes de communication sont réalisés au niveau informa par le biais des messages à contenu propositionnel.

Après les trois compétences, nous distinguons trois couches ontologiques : datalogique (décrit les transactions de blockchain au niveau technique en termes de blocs et de code), une abstraction infologique (pour décrire les transactions de blockchain en tant qu'effet d'un système

de registre ouvert (immuable)), et essentiel (pour décrire la signification économique des transactions dans les infologiques.) Le niveau de données est le niveau de structure et de manipulation des données, en utilisant les taxonomies identifiées dans les crypto-monnaies, (Glaser et Bezenberger 2015) la recherche sur la blockchain, (Christidis et Devetsikiotis 2016) les technologies blockchain et les fournisseurs de cloud. (Gray 2016)

Object Management Group Unified Modeling Language (UML), avec Object Constraint Language (OCL), (Purvis et Cranefield 1999) est considéré par Joost de Kruijff et Hans Weigand comme le meilleur choix pour l'ontologie de la blockchain.(de Kruijff et Weigand 2017) OCL est un langage déclaratif qui décrit les règles applicables aux modèles UML et fait partie du standard UML. Initialement, OCL n'était qu'une extension du langage de spécification formelle pour UML. (Object Management Group 2000) Maintenant, OCL peut être utilisé avec n'importe quel méta-modèle. (Object Management Group 2006) OCL est un langage précis du texte qui propose des expressions de contrainte et des objets de requête sur tout modèle ou méta-modèle spécifique qui ne peut pas être exprimé autrement par une notation schématique. OCL est un élément clé de la nouvelle recommandation de transformation de modèle standard.

OCL est une méthode d'analyse et de conception orientée vers les objets de deuxième génération. Les instructions OCL sont construites en quatre parties :

1. Un contexte qui définit la situation limitée dans laquelle la déclaration est valide
2. Propriété qui représente certaines caractéristiques du contexte (par exemple, si le contexte est une classe, une propriété peut être un attribut)
3. Une opération (par exemple, une arithmétique orientée ensemble) qui manipule ou qualifie une propriété, et

4. Mots-clés (par exemple, si, sinon, et, ou non, implique) utilisés pour spécifier des expressions conditionnelles.

Joost de Kruijff utilise OCL pour l'ontologie blockchain : (de Kruijff et Weigand 2017)

- Acteur : un identifiant virtuel pour toute personne ou organisation possédant un portefeuille.
- Portefeuille : lance des transactions sur la blockchain et reçoit le résultat de la transaction.
- Transaction : demande aux nœuds contenant une entrée, une somme et une sortie ou des données personnalisées.
- Nœud : entité de réseau qui ajoute (transactions publiques) ou valide (transactions hybrides ou privées), puis les ajoute dans un bloc avec un hachage unique. Les nœuds reçoivent des récompenses pour chaque transaction réussie ajoutée au bloc.
- Mineur : nœud anonyme (un serveur, par exemple) qui manipule de manière cryptographique une transaction publique valide à l'aide d'un mécanisme spécifique.
- Exploitation minière : mécanisme d'exploitation minière permettant d'effectuer des transactions dans des blocs publics.
- Validateur : nœud non public qui valide des transactions hybrides ou privées en fonction de mécanismes spécifiques.
- Validation : mécanisme de validation des transactions dans des blocs non publics.
- Bloc : un conteneur de transaction avec un en-tête cryptographique unique.
- Oncle : un bloc très proche d'être le « bon » oncle dans la blockchain.
- Cousin : Un bloc très proche d'être le « bon » oncle dans la blockchain.
- Durée : Permet l'interaction sécurisée et la communication entre les middlewares et le cloud.

- Middleware : logiciel permettant à des tiers d'interagir avec des enregistrements de blocs pour fournir des services.

Le portefeuille, la transaction et le nœud sont au cœur de cette ontologie.

Dans la taxonomie de la structure ontologique d'une chaîne, Joost de Kruijff et Hans Weigand distinguent les objets suivants : (de Kruijff et Weigand 2017)

- Chaîne : une combinaison de blocs
- Chaîne principale : contient les en-têtes de bloc de tous les blocs signés numériquement et contient des enregistrements valides de la propriété qui sont irréversibles.
- Blockchain : chaîne principale implémentée sous le code à barres Bitcoin
- Alchain : chaîne principale mise en œuvre conformément à une base de données alternative.
- Sidechain : chaîne permettant de transférer des actifs dans la chaîne principale et inversement.
- Drivechain : chaîne latérale offrant une route à double sens permettant le transfert d'une crypto-monnaie d'un réseau de base à un autre réseau nécessitant peu de dépendance de tiers (Lerner 2016)
- Chaîne latérale bifurquée : chaîne latérale permettant le transfert d'actifs entre plusieurs grandes chaînes. (Back et al. 2014)

Langefors a distingué entre l'information (en tant que connaissance) et les données (en tant que représentation), (Goldkuhl 1995) créant ainsi un nouveau domaine de l'ingénierie des connaissances appelé infologie, destiné à l'administration de structures complexes. (J. L. G. Dietz 2006) La blockchain en tant que « registre distribué » est une caractérisation infologique. Un registre est constitué de comptes. Les transactions doivent être conformes aux règles

commerciales. Une règle axiomatique dans la blockchain est que pour chaque transaction, l'entrée est égale à la sortie (débit = crédit).

Les comptes ne se limitent pas à un solde ou à un montant en devise étrangère (cryptomonnaie), ils peuvent également faire référence à d'autres types d'actions. (de Kruijff et Weigand 2017)

- Registre : gère une liste toujours croissante d'enregistrements de transaction avec des enregistrements temporaires, connectés à un bloc défini au niveau des données.
- Compte : envoyer et recevoir la valeur vers et depuis une transaction
- Objet : un stock personnalisé ou une demande (type) négociée par un compte via une transaction.
- Transaction : entrées et sorties entre comptes.
- Journal : une liste des transactions
- Règles de négociation : les contrats intelligents (niveau essentiel) sont imposés par des règles d'engagement mises en œuvre sous forme de code de blocage.

Le niveau essentiel ou métier fait référence à ce qui est créé directement ou indirectement par la communication. (de Kruijff et Weigand 2017) Dans la perspective langage / action (Narayanan et al. 2016), la notion clé de la communication est l'engagement en tant que relation sociale basée sur une compréhension commune de ce qui est juste et vrai, un changement de la réalité sociale.

L'ontologie d'entreprise n'est pas spécifique au contenu du changement. Pour cette raison, il est combiné à l'ontologie métier Ressources, Événements, Agents (REA) (Huňka et Zacek 2015) proposée à l'origine en 1982 par William E. McCarthy en tant que modèle de comptabilité généralisée. (McCarthy 1982) REA peut également apporter une valeur ajoutée lors de la mise en

forme des processus opérationnels ERP actuels, en fournissant un outil qui améliore la compréhension de la mise en œuvre et du modèle de base. (Fallon et Polovina 1982)

REA considère le système de comptabilité comme une représentation virtuelle de l'entreprise réelle. REA est une ontologie, les objets réels inclus dans le modèle REA sont :

- Ressources : biens, services ou argent
- Événements : transactions commerciales ou accords affectant les ressources
- Agents : personnes ou autres agents humains (autres entreprises, etc.)

La philosophie de REA est basée sur l'idée de modèles de conception réutilisables, bien que les modèles REA soient utilisés pour décrire les bases de données.

Dans la modélisation d'entreprise basée sur les ontologies, la conceptualisation est l'ensemble des ontologies nécessaires pour assurer une interprétation commune des données d'une ou de plusieurs bases de données d'entreprise courantes. En faisant l'hypothèse raisonnable que la modélisation des blocs est une forme spécialisée de modélisation entre entreprises, nous faisons en sorte que le processus de modélisation fondé sur une ontologie aboutisse à un blocage amélioré de l'interprétabilité. C'est : (Kim et Laskowski 2016)

- Une approche de modélisation basée sur des ontologies informelles ou semi-formelles peut conduire à une amélioration des normes de données, ainsi que des pratiques et processus métier permettant de développer et d'exploiter des blocs.
- Une approche de modélisation basée sur des ontologies formelles peut aider l'inférence formelle et la spécification automatique dans les opérations de blockchain.

Dans l'approche formelle basée sur une ontologie, la description est très similaire à la définition des contrats intelligents en tant que « logiciel qui représente un arrangement commercial et qui s'exécute automatiquement dans des conditions prédéterminées ». (The Economist 2016)

Le modèle REA développé par Bill McCarthy (McCarthy 1982) peut être considéré comme une ontologie de domaine pour la comptabilité. (de Kruijff et Weigand 2017) REA hérite de la nature des flux de stock comptables, mais élève la structure syntaxique des comptes à un niveau sémantique de ressources et d'événements.

La perspective comptable est appropriée dans le contexte de la blockchain. Étant donné que la transaction blockchain fait référence à des événements qui entraînent des changements dans la réalité économique, la REA est perçue comme étant plus appropriée pour une analyse au niveau essentiel que DEMO, qui est plus appropriée pour coordonner ces événements, ce qui est moins important pour la blockchain.

- Agent : personne ou organisation qui contrôle les ressources et peut initier une transaction ou un engagement.
- Ressource : Un bien ayant une certaine valeur économique contrôlée par un agent.
- Événement de stock : offre ou réception d'une ressource.
- Transaction : processus qui modifie la réalité économique (échange ou conversion) et qui consiste en événements de croissance et de réduction du stock.
- Échange économique : Une transaction qui change la réalité économique à travers l'échange.
- Conversion économique : une transaction qui modifie la réalité économique grâce à la conversion.
- Engagement : promesses d'événements de flux de stock futurs qui sont remplies avec l'exécution de ces événements.
- Contrat intelligent : contrat dans lequel l'exécution de l'engagement est réalisée en totalité ou en partie automatiquement. (de Kruijff et Weigand 2017)

REA inclut également la notion de contrat comme un ensemble d'engagements mutuels, par le biais de transactions, ainsi que d'engagements. Une particularité d'un contrat intelligent (introduit à l'origine par Nick Szabo) est qu'au moins une partie des engagements est exécutée automatiquement. (Szabo 1997) Les transactions sont effectuées avec un ensemble de transactions. Des engagements sont également réalisés par le biais de transactions infologiques. L'accomplissement est réalisé par un transfert du compte de type engagement.

En se référant aux processus REA, on peut dire que la planification (création d'un contrat intelligent) et l'allocation de ressources d'entrée (événements de sortie) se matérialisent sur la blockchain, tandis que l'exécution du contrat par échange et conversion (dans une moindre mesure) déclenche les ressources de sortie (événements d'entrée) pouvant atteindre à l'extérieur de la blockchain, même pour des entités physiques, telles que, par exemple, des périphériques IoT. (de Kruijff et Weigand 2017)

### Bibliographie

- Aaldijk, Rob, et Erik Vermeulen. 2001. « Modelleren van organisaties -- nieuwe methoden en technieken leiden tot beter inzicht. » [http://api.ning.com/files/rgM-chfmWQA57MkWjSFxZ7XWLP0A7Ywf0KgaZUNxl0O1OMj\\*TRFOkPpXb7-Kj7nNa7YRcC-jXrY6w4gl0JkcWvxytMNf9aB2/Aaldijk.pdf](http://api.ning.com/files/rgM-chfmWQA57MkWjSFxZ7XWLP0A7Ywf0KgaZUNxl0O1OMj*TRFOkPpXb7-Kj7nNa7YRcC-jXrY6w4gl0JkcWvxytMNf9aB2/Aaldijk.pdf).
- Back, Sidechains Adam, Matt Corallo, Luke Dashjr, Mark Friedenbach, Gregory Maxwell, Andrew Miller, Andrew Poelstra, et Jorge Timón. 2014. « Enabling Blockchain Innovations with Pegged ». In .
- Buterin, Vitalik. 2015. « On Public and Private Blockchains ». 2015. <https://blog.ethereum.org/2015/08/07/on-public-and-private-blockchains/>.
- Christidis, K., et M. Devetsikiotis. 2016. « Blockchains and Smart Contracts for the Internet of Things ». *IEEE Access* 4: 2292-2303. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2016.2566339>.
- Dietz, Jan. 1996. « Introductie tot DEMO ». <http://www.fredvroom.nl/Downloads/Introductie%20tot%20DEMO%20-%20Prof.%20Dr.%20Ir.%20J.L.G.%20Dietz.pdf>.
- Dietz, Jan L. G. 2001. « DEMO: Towards a discipline of organisation engineering ». *European Journal of Operational Research* 128: 351-63. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(00\)00077-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(00)00077-1).
- . 2006. *Enterprise Ontology: Theory and Methodology*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. [//www.springer.com/la/book/9783540291695](http://www.springer.com/la/book/9783540291695).

- Dietz, Jan L. G., et Terry A. Halpin. 2004. « Using DEMO and ORM in Concert: A Case Study ». In *Advanced Topics in Database Research, Vol. 3*. <https://doi.org/10.4018/978-1-59140-255-8.ch011>.
- Dignum, Frank, et Jan Dietz. 1997. « Communication Modeling, The Language/Action Perspective. Second International Workshop on Communication Modeling ». <https://pdfs.semanticscholar.org/7dd5/7b8af197433f295ef553f88e3b361b1a383e.pdf>.
- Fallon, Richard, et Simon Polovina. 1982. « REA analysis of SAP HCM; some initial findings ». <http://ceur-ws.org/Vol-1040/paper4.pdf>.
- Flores, Fernando, Michael Graves, Brad Hartfield, et Terry Winograd. 1988. « Computer Systems and the Design of Organizational Interaction ». *ACM Trans. Inf. Syst.* 6 (2): 153–172. <https://doi.org/10.1145/45941.45943>.
- Fox, M.S. 1992. « The TOVE Project: Towards A Common-sense Model of the Enterprise ». <http://www.eil.utoronto.ca/wp-content/uploads/enterprise-modelling/papers/fox-tove-uofttr92.pdf>.
- Glaser, Florian, et Luis Bezenberger. 2015. « Beyond Cryptocurrencies - A Taxonomy of Decentralized Consensus Systems ». *Proceedings of the 23rd European Conference on Information Systems, ECIS 2015, Münster, Germany, May 26-29*. <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000073771>.
- Goldkuhl, Goran. 1995. « Information as Action and Communication, The Infological Equation ». <http://www.vits.org/publikationer/dokument/145.pdf>.
- Gray, Marley. 2016. « Introducing Project Bletchley and Elements of Blockchain Born in the Microsoft Cloud ». 2016. <https://azure.microsoft.com/en-us/blog/bletchley-blockchain/>.
- Guarino, Nicola. 1998. « Formal Ontology and Information Systems ». <https://klevas.mif.vu.lt/~donatas/Vadovavimas/Temos/OntologiskaiTeisingasKonceptinisModeliavimas/papildoma/Guarino98-Formal%20Ontology%20and%20Information%20Systems.pdf>.
- Guarino, Nicola, Daniel Oberle, et Steffen Staab. 2009. « What Is an Ontology? » ResearchGate. 2009. [https://www.researchgate.net/publication/226279556\\_What\\_Is\\_an\\_Ontology](https://www.researchgate.net/publication/226279556_What_Is_an_Ontology).
- Huňka, František, et Jaroslav Zacek. 2015. « A New View of REA State Machine ». ResearchGate. 2015. [https://www.researchgate.net/publication/277942361\\_A\\_new\\_view\\_of\\_REA\\_state\\_machine](https://www.researchgate.net/publication/277942361_A_new_view_of_REA_state_machine).
- Kim, Henry M., et Marek Laskowski. 2016. « Towards an Ontology-Driven Blockchain Design for Supply Chain Provenance ». *arXiv:1610.02922 [cs]*. <http://arxiv.org/abs/1610.02922>.
- Kruijff, Joost de, et Hans Weigand. 2017. « Understanding the Blockchain Using Enterprise Ontology ». Springerprofessional.De. 2017. <https://www.springerprofessional.de/en/understanding-the-blockchain-using-enterprise-ontology/12328482>.
- Lerner, Sergio Damian. 2016. « Drivechains, Sidechains and Hybrid 2-way peg Designs ». <https://assets.ctfassets.net/sdIntm3thp6/resource-asset-r404/622892f62ff64478171612868cfe0ec1/1d111198-09df-4d7b-bbc2-42b724378697.pdf>.
- McCarthy, William E. 1982. « The REA Accounting Model: A Generalized Framework for Accounting Systems in a Shared Data Environment ». *The Accounting Review* 57 (3): 554-78. <https://www.jstor.org/stable/246878>.

- Nian, Lam Pak, et David Lee Kuo Chuen. 2015. « A Light Touch of Regulation for Virtual Currencies | Request PDF ». ResearchGate. 2015.  
[https://www.researchgate.net/publication/286055684\\_A\\_Light\\_Touch\\_of\\_Regulation\\_for\\_Virtual\\_Currencies](https://www.researchgate.net/publication/286055684_A_Light_Touch_of_Regulation_for_Virtual_Currencies).
- Object Management Group. 2000. « ObjectConstraintLanguage Specification ».  
[http://homepage.divms.uiowa.edu/~tinelli/classes/5810/Spring08/Papers/OCL\\_1.5.pdf](http://homepage.divms.uiowa.edu/~tinelli/classes/5810/Spring08/Papers/OCL_1.5.pdf).
- . 2006. « Object Constraint Language - OMG Available Specification - Version 2.0 ».  
[http://www2.imm.dtu.dk/courses/02291/files/OCL2.0\\_06\\_05\\_01.pdf](http://www2.imm.dtu.dk/courses/02291/files/OCL2.0_06_05_01.pdf).
- Purvis, Martin, et Stephen Cranefield. 1999. « UML as an Ontology Modelling Language ».  
<https://ourarchive.otago.ac.nz/handle/10523/932>.
- Szabo, Nick. 1997. « Formalizing and Securing Relationships on Public Networks ». *First Monday* 2 (9). <https://doi.org/10.5210/fm.v2i9.548>.
- The Economist. 2016. « Not-so-Clever Contracts ». Internet Archive. 2016.  
[https://archive.org/details/perma\\_cc\\_QNH7-5BJZ](https://archive.org/details/perma_cc_QNH7-5BJZ).
- Totland, Terje. 1997. « Toronto Virtual Enterprise (TOVE) ».  
<http://www.idi.ntnu.no/grupper/su/publ/html/totland/ch0523.htm>.
- Van Nuffel, Dieter, Hans Mulder, et Steven Van Kervel. 2009. « Enhancing the Formal Foundations of BPMN by Enterprise Ontology ». In *Advances in Enterprise Engineering III*, édité par Antonia Albani, Joseph Barjis, et Jan L. G. Dietz, 115-29. Lecture Notes in Business Information Processing. Springer Berlin Heidelberg.
- Wang, Yan, Antonia Albani, et Joseph Barjis. 2011. « Transformation of DEMO Metamodel into XML Schema ». In *Advances in Enterprise Engineering V*, édité par Antonia Albani, Jan L. G. Dietz, et Jan Verelst, 46-60. Lecture Notes in Business Information Processing. Springer Berlin Heidelberg.