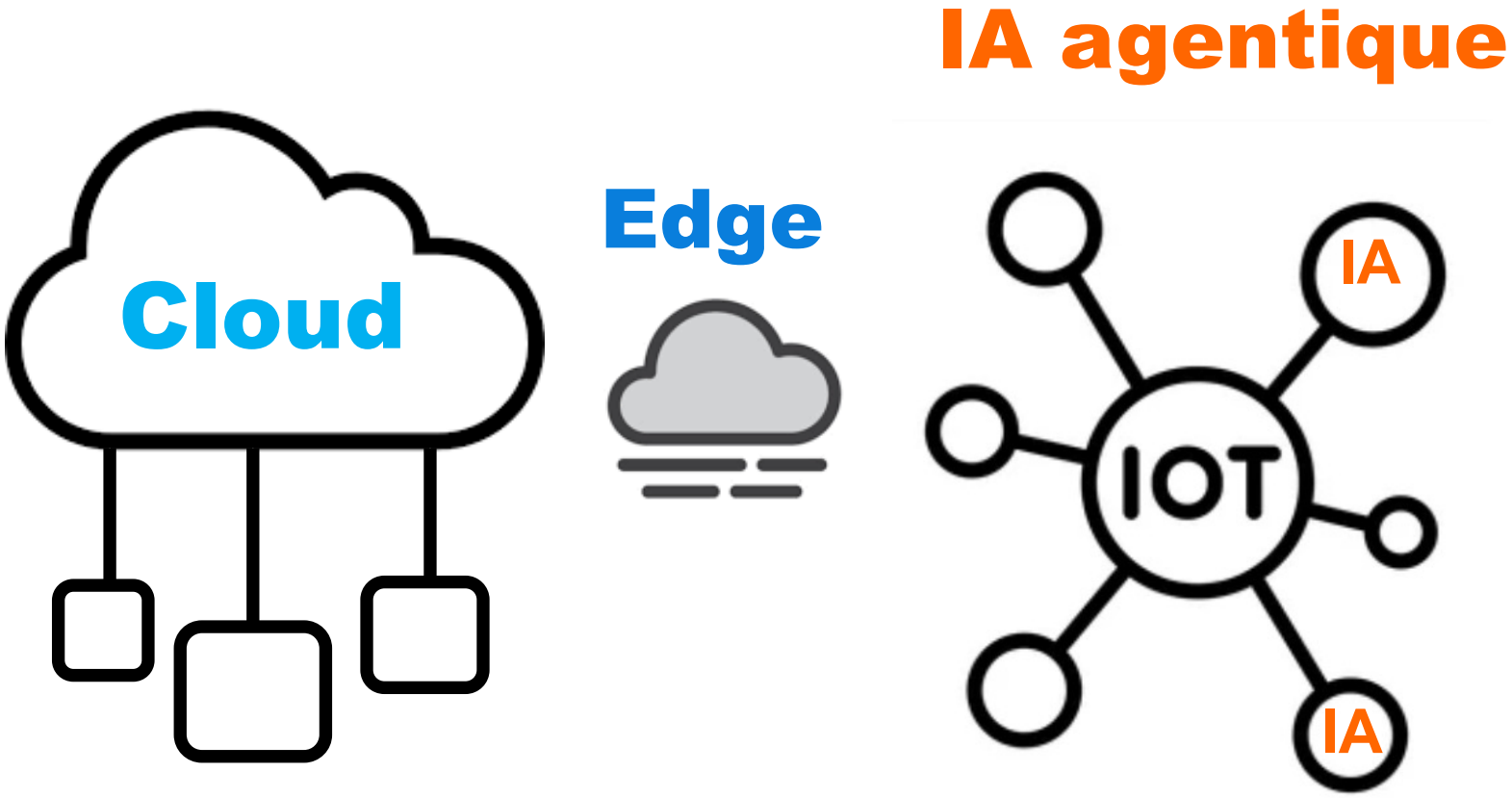
Le Continuum Edge-Cloud

concepts, architectures et enjeux

Patrick Valduriez

Polycloud: tendances 2026



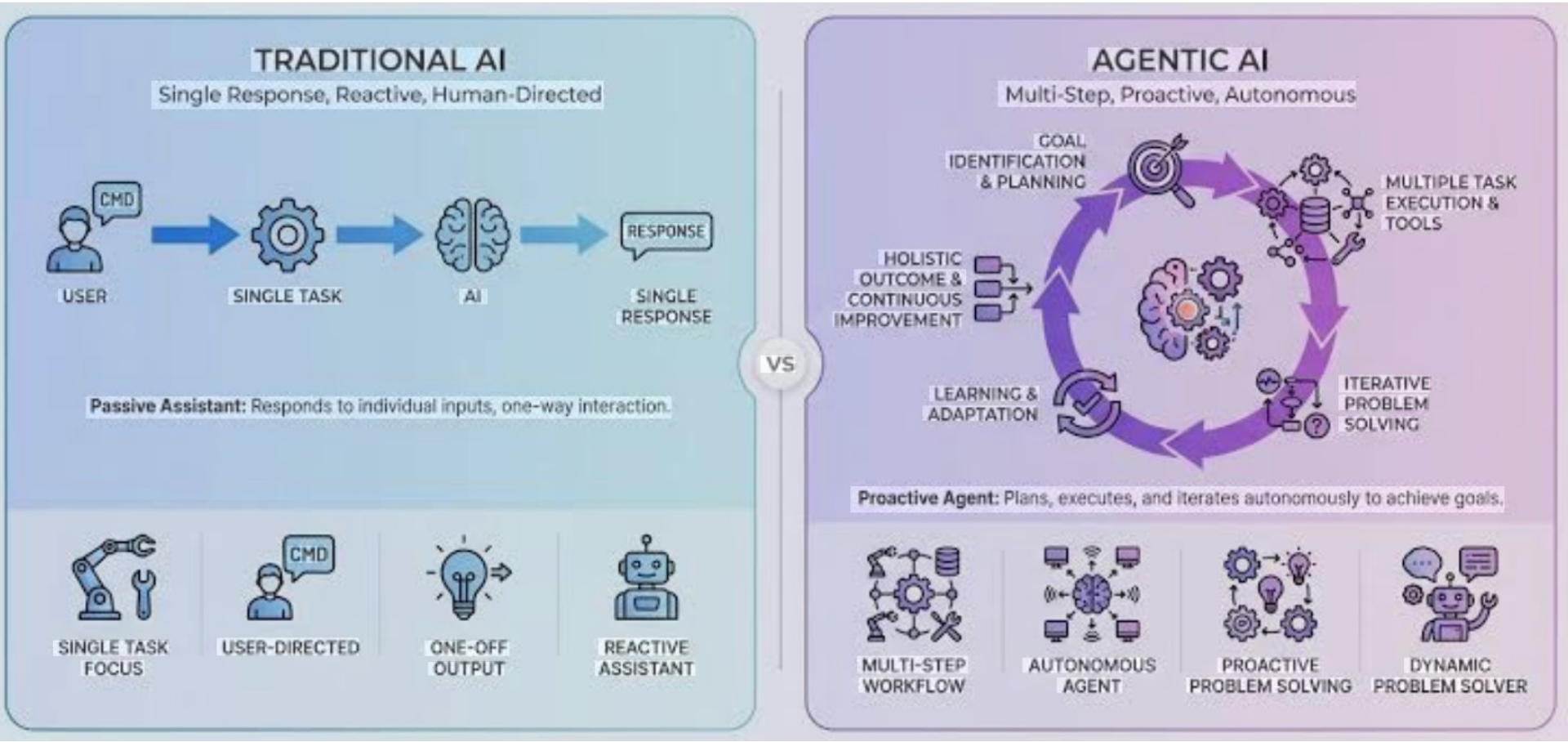
IoT (Internet des Objets)

- Interconnexion de toutes sortes d'objets numériques via Internet
  - Compteurs, capteurs, actionneurs, caméras, montres connectées, etc.
  - Capacités à produire des données, communiquer via un réseau, traiter l'information et interagir avec l'environnement

- Caractéristiques des objets
  - Identification (adresse IP)
  - Communication sans fil (Wifi, Bluetooth, RFID, …)
  - Transfert de données sur TCP/IP
    - MQTT, HTTP, HTTPS, REST, …
  - Collecte de données en temps-réel

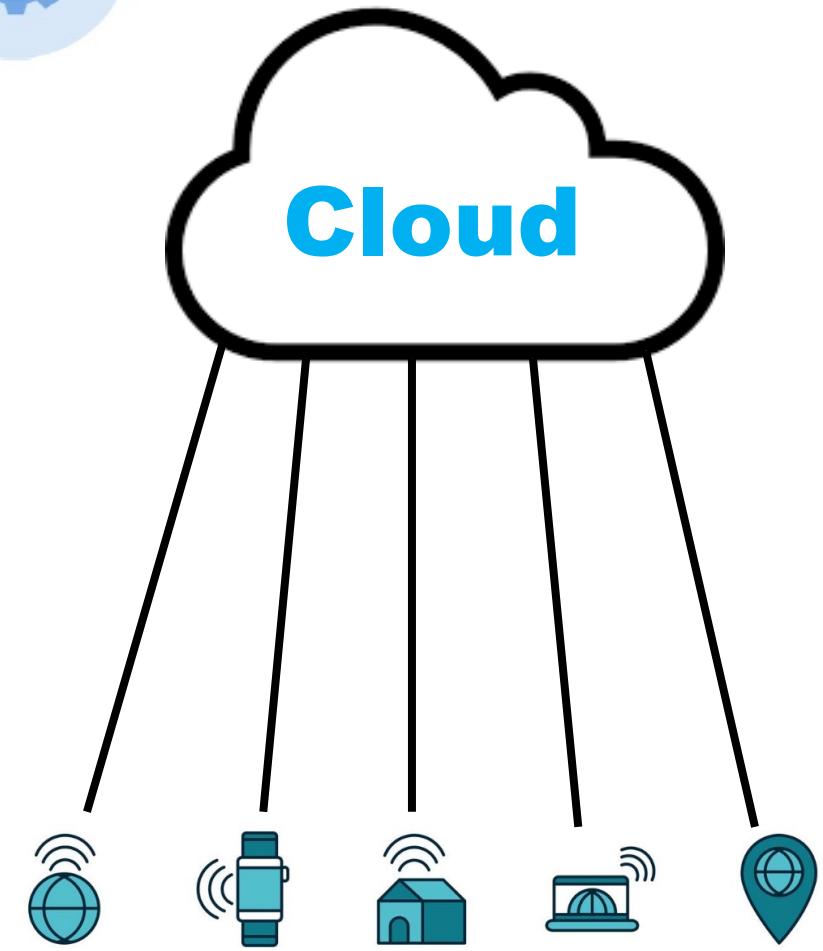
IA agentique

- IA axée sur la prise de décision, l'action autonome et la collaboration
  - Systèmes multi-agents, agents IA (ex. chatbots)



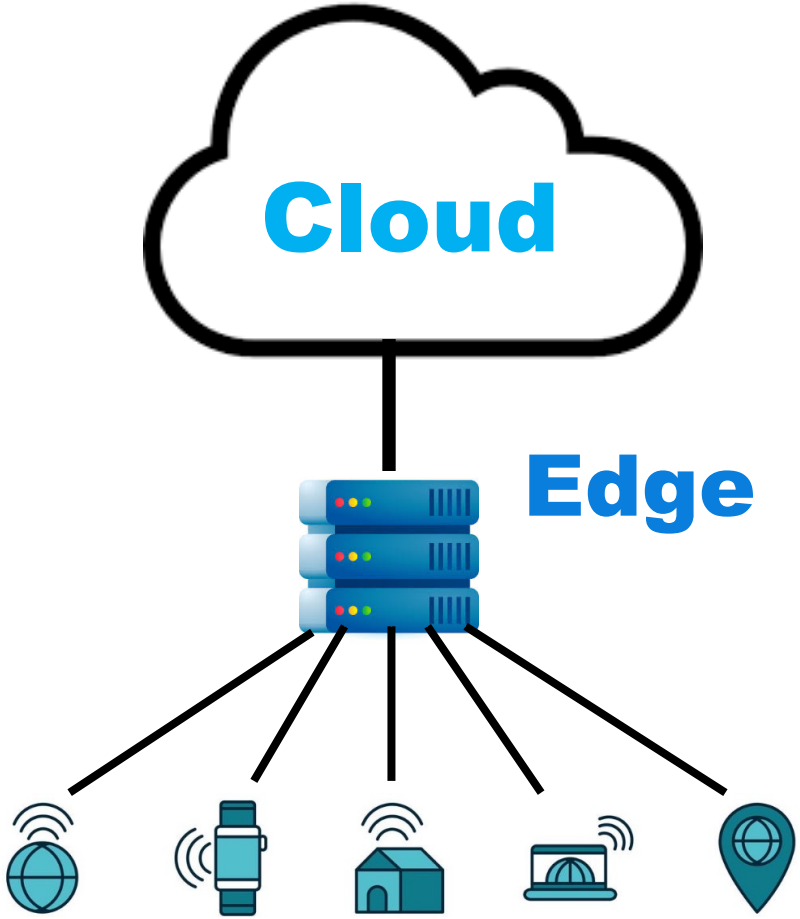
Cloud et IoT

- Problèmes
  1. Le cloud pas conçu pour le volume, la variété et la vitesse des données IoT
  2. L'analyse doit souvent être très rapide (qqs millisecondes)
- Exemple dans Industrie 4.0
  - Lorsque la température dans une cuve chimique approche rapidement de la limite acceptable, l'action doit être immédiate
  - Envoyer les relevés de température dans le cloud pour être analysés prendrait trop de temps



Edge computing

- Principe
  - Mettre les applications, les données et la puissance de calcul à la périphérie (edge) du réseau, à proximité des objets
  - Prédiction et action au niveau edge
    - Serveurs, routeurs, ordinateurs industriels
    - Micro-datacenters (Azure modular datacenter, AWS MDC)



Caractéristiques

- Très grande distribution géographique
  - Architecture distribuée à grande échelle
- Très grande hétérogénéité des objets
  - Communication directe avec les applications
  - Rôle prédominant de l'accès sans fil et réseau mobile
- Standardisation
  - Linux Foundation Edge (Intel, IBM, Dell, Redhat, etc)
    - Ecosystème open source unifié
  - Industrial Internet Consortium (AT&T, Cisco, IBM, etc)
    - Architectures pour l'industrie (IIoT)
  - Multi-access Edge Computing (MEC) de l'ETSI
    - Architecture standardisée par l'industrie Telco

Applications

- Très diverses, avec un point commun
  - Surveillance ou analyse des données en temps réel provenant d'objets reliés au réseau afin d'entreprendre une action
  - L'action peut impliquer des communications M2M ou une interaction H2M
- Exemples d'actions
  - Zoomer une caméra vidéo
  - Ouvrir une valve en réponse à une lecture de pression
  - Alerter un technicien

Exemples d'applications

- Véhicules et drones autonomes
  - Capteurs, radars et caméras servent à percevoir l'environnement
  - Objectif: prendre des décisions de navigation et d'action en quelques millisecondes
- Industrie 4.0: vers l'usine autonome
  - Capteurs et machines remontent données de vibration, chaleur et performance
  - Objectif: détecter les pannes avant qu'elles n'arrivent, planifier la maintenance, optimiser la production
- Santé connectée
  - Montres et capteurs surveillent rythme cardiaque, sommeil, glycémie
  - Objectif: détecter des anomalies, alerter un médecin
- Ville intelligente
  - Feux de circulation, capteurs de trafic et pollution
  - Objectif: réguler le trafic, optimiser l'énergie, coordonner les services urbains, améliorer la sécurité

Avantages du edge computing

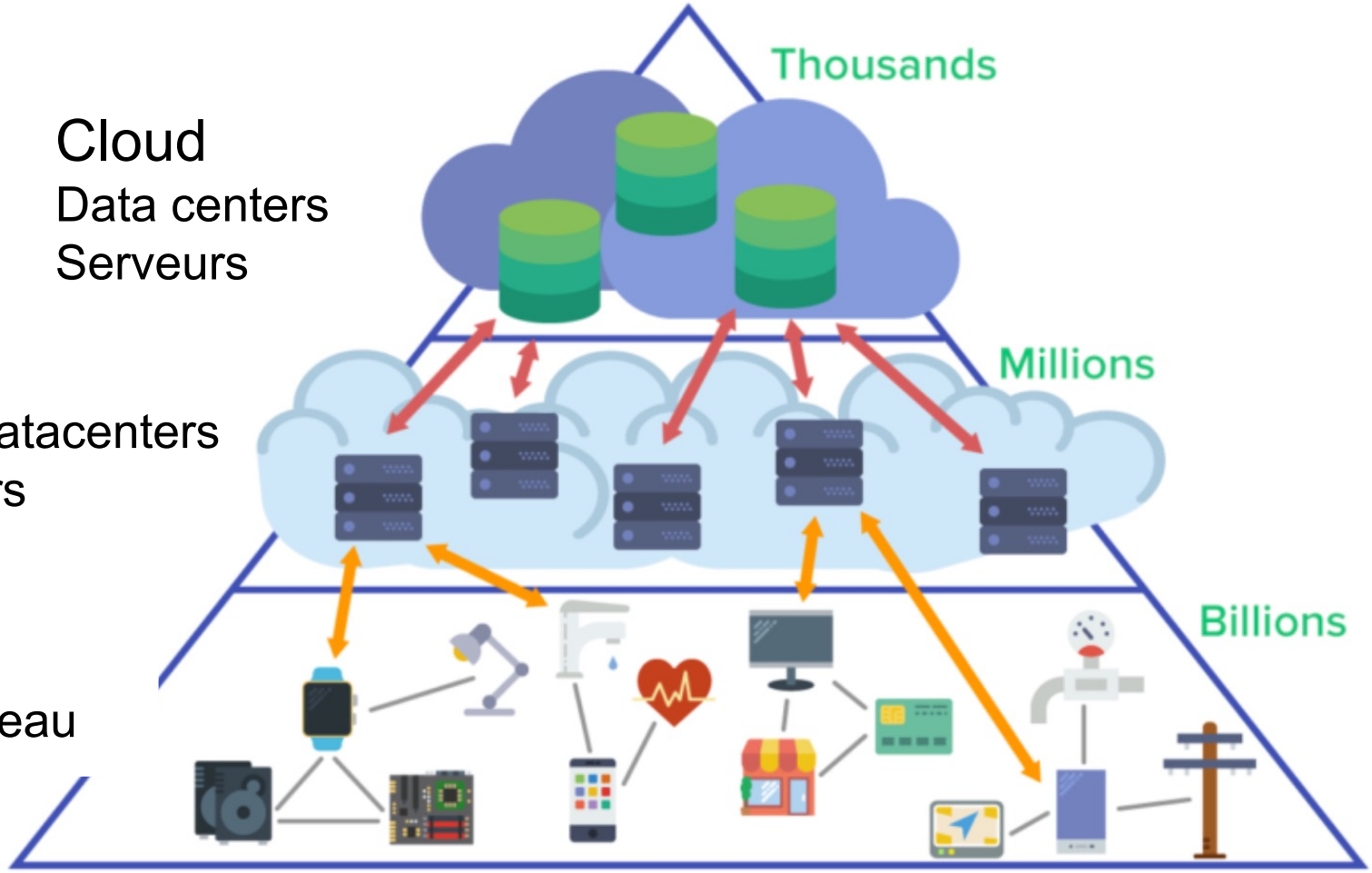
- Faible latence
  - Traitement des données à proximité de leur lieu d'origine
- IA agentique
  - Prise de décision multi-agent en temps réel
- Bande passante
  - Optimisation des communications avec le cloud
- Confidentialité et sécurité
  - Les données sensibles peuvent rester locales
- Connectivité
  - Possibilité de fonctionner malgré l'absence de connexion au cloud
- Réduction des coûts de stockage cloud
  - Seules les données utiles vont dans le cloud

Le continuum edge-cloud

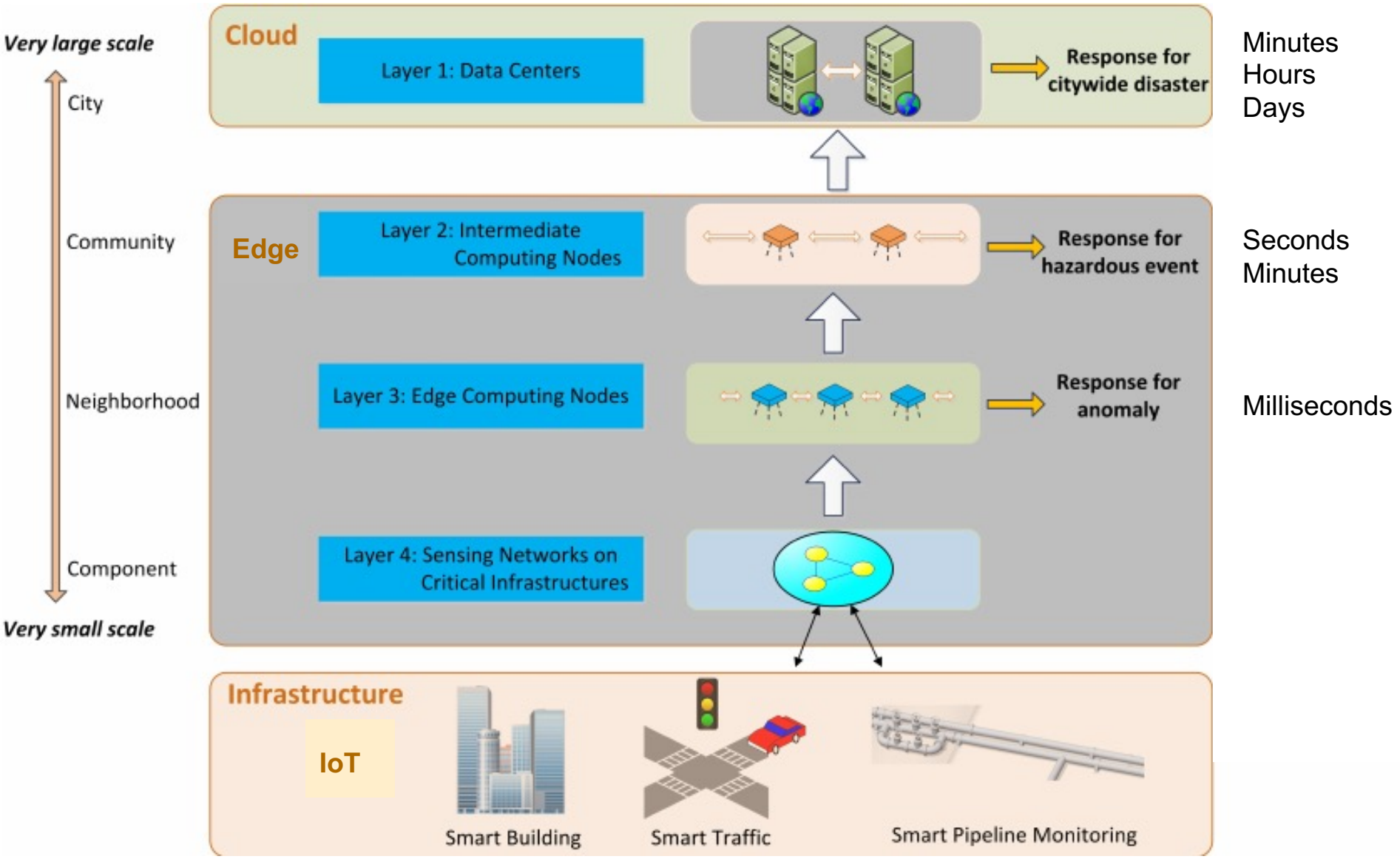
Cloud
Data centers
Serveurs

Edge
Micro-datacenters
Serveurs

IoT
Objets, réseau



Exemple d'architecture : smart city



Exemples de smart cities

- Barcelone (projet pionnier))
  - Capteurs de stationnement indiquant les places libres
  - Éclairage public intelligent qui adapte son intensité
  - Capteurs de qualité de l'air et du bruit
- Singapour (projet Smart Nation)
  - Caméras et capteurs pour gérer la circulation
  - Surveillance des niveaux d'eau pour prévenir les inondations
  - Gestion intelligente des bâtiments publics
- Amsterdam (mobilité et énergie intelligentes)
  - Réseaux électriques intelligents (smart grids)
  - Capteurs environnementaux
  - Gestion intelligente des déchets
- Songdo (smart city depuis la conception)
  - Collecte automatisée des déchets par conduites souterraines
  - Contrôle intelligent des bâtiments
  - Réseaux de transport connectés

Plateformes

- Cloud
  - AWS IoT Greengrass, Azure IoT Edge, Google Distributed Cloud
  - IBM Edge Application Manager, Oracle Cloud Infrastructure Edge Services
- Kubernetes
  - Red Hat OpenShift
  - SUSE Edge, VMware Edge Compute Stack
- Industrie
  - Siemens Industrial Edge
  - Schneider Electric EcoStruxure, HPE Edgeline, Dell NativeEdge
- Télécom
  - Nokia MX Industrial Edge, Ericsson MEC, Huawei

Enjeux du continuum edge-cloud

- Architecture complexe (versus cloud)
  - Distribution des données et traitements entre objets, serveurs edge et cloud
  - Gestion de milliers/millions d'objets
  - Interopérabilité entre plateformes edge
- Cybersécurité des objets IoT
  - Sécurité de bout-en-bout, depuis les objets jusqu'au cloud
  - Protection des données privées
- IA agentique
  - Taille des modèles embarqués dans les objets
  - Fiabilité des décisions autonomes