# Introduction aux annuaires d'entreprise LDAP

**C. Claveleira**
**CRU**

**Journées Techniques de l'Ouest**
**23 mars2001**

# Plan

- Introduction
- Concepts
- Déployer un service LDAP
- Les logiciels serveurs
- Les clients LDAP
- Les outils de développement
- Les applications de LDAP aujourd'hui et demain
- Bibliographie

# Introduction : les annuaires d'entreprise

- les plus classiques :
  - l'annuaire téléphonique des employés
  - le répertoire des fournisseurs
  - la base clients
  - le catalogue des produits
  - l'inventaire
  - ...
    - → + ou - nombreux (>100 dans grosses entreprises)
    - → + ou - informatisés
    - → + ou - facilement consultables
    - → gérés dans des services différents
    - → dans des formats différents
    - → + ou - à jour
    - → + ou - redondants
    - → + ou - (in)cohérents

# Introduction : les annuaires d'entreprise

**Besoins :**

- fournir aux utilisateurs des informations fiables, facilement accessibles (intégration dans les outils quotidiens)
- permettre aux utilisateurs de metttre à jour eux-mêmes leurs informations personnelles
- éviter la redondance
  - → information en un seul exemplaire
  - → accessible à l'ensemble du SI de l'entreprise (annuaire tél., comptes utilisateurs, paye,...)

# Introduction : les annuaires d'entreprise

- rendre accessible à l'extérieur des informations de façon contrôlée
- faciliter la gestion des postes de travail de l'entreprise
- faciliter la gestion des équipements réseau de l'entreprise
- faciliter le nomadisme des utilisateurs
- offrir de nouveaux services (intranet personalisé, groupware, contrôle d'accès aux locaux, PKI,...)
- sans remettre en cause les applications existantes (comptabilité, paye,...)
- **Solution : Un moyen de stockage et d'accès commun à tou(s t)**
  - ⇨ **LDAP**

# Concepts : qu’est-ce qu’un annuaire ?

- Un annuaire est un conteneur d’informations organisées
- Un service d'annuaire électronique, c'est en plus...
  - un protocole qui permet l'accès au contenu
  - une syntaxe qui permet d’interroger la base
  - un protocole de mise à jour
- et aussi
  - un modèle de duplication
  - un modèle de distribution des données

# Concepts : qu'est-ce qu'un annuaire ?

## Spécificités des annuaires électroniques

- dynamiques (informations changent -> + à jour)
- souples (changement aisé type et organisation des données)
- peuvent être sécurisés (qui voit quoi)
- peuvent être personalisés (façon de présenter les données, action sur ses propres données,...)

# Concepts : qu'est-ce qu'un annuaire ?

## Caractéristiques comparées des annuaires et base de données

- rapport lecture/écriture (beaucoup) plus élevé pour les annuaires
- annuaires plus facilement extensibles (types de données)
- diffusion à beaucoup plus large échelle
- distribution des données entre serveurs plus facile avec les annuaires
- plus grande duplication des informations des annuaires (+ fiable, +performant, + proche des clients)
- importance des standards -> LDAP
- performances globales des annuaires plus élevées (en lecture)

# Concepts : à quoi peut servir un annuaire en ligne ?

- chercher (et trouver) des informations mieux et plus vite
- pour des personnes ou des applications
- gérer (carnets d'adresses, comptes utilisateurs, profils,...)
- de base de donnée simple
- à stocker et diffuser des certificats dans une PKI

# Concepts : ce que n’est pas un annuaire

- approprié à de fréquentes écritures
- destiné à manipuler des données volumineuses
- un substitut à un serveur FTP, un système de fichiers,...

# Concepts : différents annuaires

- Les annuaires dédiés aux applications
  - Lotus cc:Mail, Notes
  - Unix sendmail /etc/aliases
  - Microsoft Exchange
- Les annuaires Internet (offrent de plus en plus un accès LDAP)
  - Bigfoot, Yahoo’s Four11, AnyWho (AT&T), Schwitboard
- Les annuaires système-réseau (NOS)
  - Sun NIS, NIS+
  - Novell NetWare Directory Service (93) (proche d’X500)
  - Microsoft Active Directory (natif LDAP)
- Les annuaires multi-usage
  - X.500 (88-93-97)
  - WHOIS++ (93)
  - CSO (PH)

# Concepts : historique : X.500

- Standard conçu par les opérateurs télécom pour interconnecter leurs annuaires téléphoniques.
- Destiné à devenir LE service d'annuaire GLOBAL distribué, normalisé et fédérateur.
- Mais conçu aussi pour répondre à tout type de besoin d'annuaire grâce à un modèle de données de type objet et extensible.

# Concepts : historique : X.500

## Qualités et défauts d'X500 :

- Atouts d'X500 :
  - *scalability*, fonctions de recherche évoluées, distribué (données et administration), ouvert
- Défauts d'X500 :
  - implémentations (très) lourdes, buggées et difficilement interopérables, basé sur les protocoles ISO, contraire à la culture internet
- Echec : les ambitions d'X500 n'ont pas été atteintes

# Concepts : historique : LDAP

- En 1993 Lightweight Directory Access Protocol (LDAP) est né de l'adaptation et du dégraissage de X.500 DAP au protocole TCP/IP.
- Deux groupes de travail aboutissent à 2 produits fonctionnant comme frontal X.500 :
  - Directory Assistance Service (DAS) : RFC 1202
  - Directory Interface to X.500 Implemented Efficiently (DIXIE) : RFC 1249

qui convergent finalement vers le standard IETF LDAP.

  - LDAPv1 : RFC 1487
  - LDAPv2 : RFC 1777
  - LDAPv3 : RFC 2251

- LDAP garde beaucoup d'aspects de X.500 dans les grandes lignes, mais va dans le sens de la simplification et de la performance

# Concepts : LDAP

- un*protocole d'accès* -- comment accéder à l'information contenue dans l'annuaire,
- un *modèle d'information* -- le type d'informations contenues dans l'annuaire,
- un *modèle de nommage* -- comment l'information est organisée et référencée,
- un *modèle fonctionnel* -- comment on accède et met à jour l'information,
- un *modèle de sécurité* -- comment données et accès sont protégés,
- un *modèle de duplication* -- comment la base est répartie entre serveurs,
- des *API* -- pour développer des applications clientes,
- *LDIF* -- un format d'échange de données.

# Concepts : LDAP, le protocole

Le protocole définit :

- Comment s'établit la communication client-serveur :
  - commandes pour se connecter ou se déconnecter, pour rechercher, comparer, créer, modifier ou effacer des entrées.
- Comment s'établit la communication serveur-serveur :
  - échanger leur contenu et le synchroniser (*replication service*)
  - créer des liens permettant de relier des annuaires les uns aux autres (*referral service*).
- Le format de transport de données :
  - pas l'ASCII (comme pour http, smtp...) mais le *Basic Encoding Rules* (BER), sous une forme allégée (appelée LBER : Lightweight BER)

# Concepts : LDAP, le protocole

## Le protocole définit (suite) :

- Les mécanismes de sécurité :
  - méthodes de chiffrement et d'authentification
  - mécanismes de règles d'accès aux données.
- Les opérations de base:
  - interrogation : `search, compare`
  - mise à jour : `add, delete, modify, rename`
  - connexion au service : `bind, unbind, abandon`
- Communication *client-serveur* :
  - normalisée par l'IETF : la version actuelle est LDAPv3 (RFC2251).
- Communication *serveur-serveur* :
  - le *referral service* est définit par LDAPv3,
  - le *replication service* est encore en cours de normalisation sous la dénomination *LDAP Duplication Protocol* (LDUP)

# Concepts : LDAP, le protocole

- LDAPv3 est conçu pour être extensible sans avoir à modifier la norme grâce à 3 concepts :
  - *LDAP extented operations* : rajouter une opération, en plus des neuf opérations de base.
  - *LDAP controls* : paramètres supplémentaires associés à une opération qui en modifient le comportement.
  - *Simple Authentification and Security Layer* : couche supplémentaire permettant à LDAP d'utiliser des méthodes d'authentification externes.

# Concepts : LDAP, modèle d'information

- Le modèle d'information définit le type de données pouvant être stockées dans l'annuaire.
  - L'*entrée* (*Entry*) = élement de base de l'annuaire. Elle contient les informations sur un *objet* de l'annuaire.
  - Ces informations sont représentées sous la forme d'*attributs* décrivant les caractéristiques de l'objet.
  - Toute sorte de *classe d'objet* (réel ou abstrait) peut être représentée.
  - Le *schéma* de l'annuaire définit la liste des *classes d'objets* qu'il connaît.

# Concepts : LDAP, modèle d'information

## Schéma

- Le *Directory schema* est l'ensemble des définitions relatives aux objets qu'il sait gérer (~typedef).
- Le schéma décrit les *classes d'objets*, les types des *attributs* et leur syntaxe.
- Chaque entrée de l'annuaire fait obligatoirement référence à une *classe d'objet* du *schéma* et ne doit contenir que des attributs qui sont rattachés au type d'objet en question.

# Concepts : LDAP, modèle d'information

## ❑ Attributs

Un *type d'attribut* (ou *attribut*) est caractérisé par :

- Un nom, qui l'identifie
- Un Object Identifier (OID), qui l'identifie également
- S'il est mono ou multi-valué
- Une syntaxe et des règles de comparaison (matching rules)
- Un format ou une limite de taille de valeur qui lui est associée

**Tableau 1 : Exemple d'attributs d'une entrée**

| type d'attribut | valeur d'attribut |
|---|---|
| cn: | Barnabé Dupond |
| uid: | bdupond |
| telephonenumber: | +33 (0)1 2345 6789 |
| mail: | Barnabe.Dupond@acme.com |
| roomnumber: | C105 |

# Concepts : LDAP, modèle d'information

## ❑ Classes d'objets

Les classes d'objets modélisent des objets réels ou abstraits en les caractérisant par une liste d'attributs optionnels ou obligatoires. Une classe d'objet est définie par :

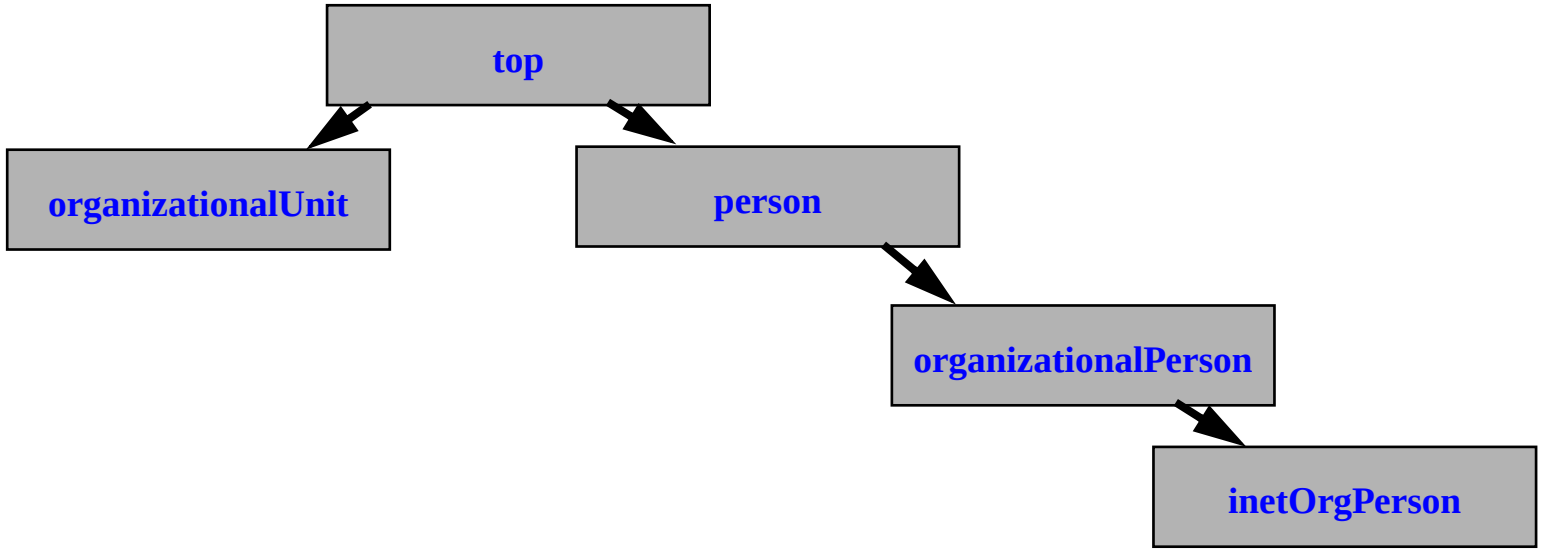
- Un nom, qui l'identifie
- Un OID, qui l'identifie également
- Des attributs obligatoires
- Des attributs optionnels
- Un type (structurel, auxiliaire ou abstrait)

Exemples de classes d'objet :

- une organisation (`o`),
- ses départements (`ou`),
- son personnel (`organizationalPerson`),
- ses imprimantes (`device`),
- ses groupes de travail (`groupofnames`).

# Concepts : LDAP, modèle d'information

Les classes d'objets forment une hiérarchie, au sommet de laquelle se trouve l'objet `top`.




- Chaque objet hérite des propriétés (attributs) de l'objet dont il est le fils.
- On précise la classe d'objet d'une entrée à l'aide de l'attribut `objectClass`.
- Il faut obligatoirement indiquer la parenté de la classe d'objet en partant de l'objet `top` et en passant par chaque ancêtre de l'objet.

# Concepts : LDAP, modèle d'information

Par exemple, l'objet `inetOrgPerson` à la filiation suivante :

```
objectClass: top
objectClass: person
objectClass: organizationalPerson
objectClass: inetOrgPerson
```

**L'objet** person **a comme attributs :** commonName, surname, description, seeAlso, telephoneNumber, userPassword

**L'objet fils** organizationalPerson **ajoute des attributs comme :** organizationUnitName, title, postalAddress...

**L'objet petit-fils** inetOrgPerson **lui rajoute des attributs comme :** mail, labeledURI, uid (userID), photo...

Une entrée peut appartenir à un nombre non limité de classes d'objets.

Les attributs obligatoires sont la réunion des attributs obligatoires de chaque classe.

## ❑ OIDs

### Les classes d'objets et les attributs

- sont normalisés par le RFC2256 afin de garantir l'interopérabilité entre logiciels.

- Sont référencées par un *object identifier* (OID) unique dont la liste est tenue à jour par l'*Internet Assigned Numbers Authority* (IANA).

### Un OID est une séquence de nombres entiers séparés par des points. Les OIDs sont alloués de manière hiérarchique :

- seule, l'autorité qui a délégation sur la hiérarchie « 1.2.3 » peut définir la signification de l'objet « 1.2.3.4 ». Par exemple :

```
2.5                - fait référence au service X.500
2.5.4              - est la définition des types d'attributs
2.5.6              - est la définition des classes d'objets
1.3.6.1            - Internet OID
1.3.6.1.4.1        - IANA-assigned company OIDs, utilisé pour entreprises privées
1.3.6.1.4.1.4203   - OpenLDAP
1.3.6.1.4.1.7135   - pour le CRU
```

# Concepts : LDAP, modèle de nommage

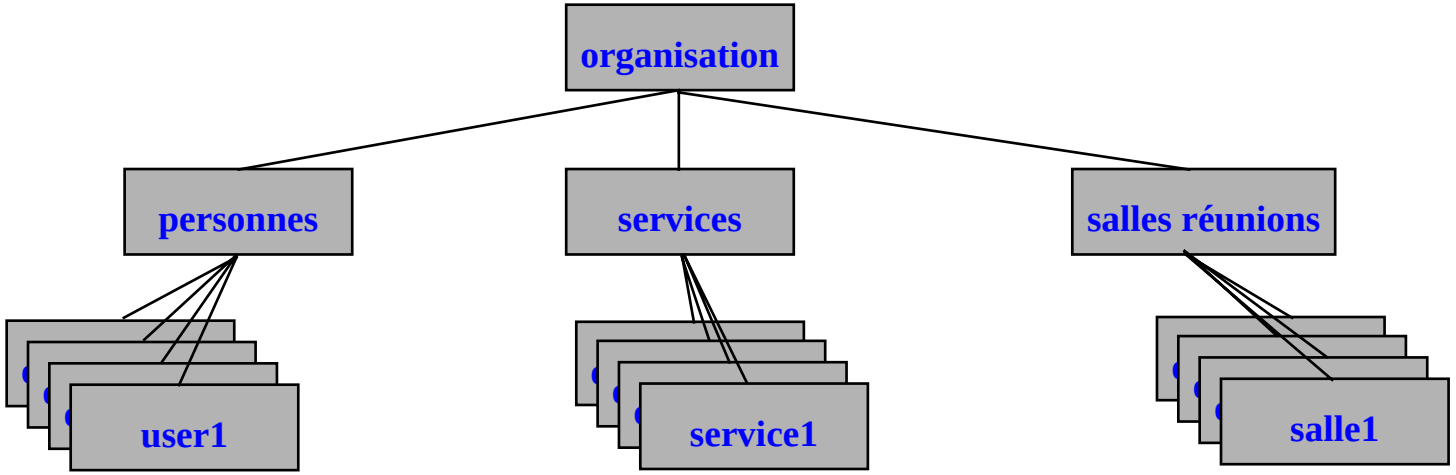
- Le modèle de nommage définit comment sont organisées les entrées de l'annuaire et comment elles sont référencées.
- Les entrées représentent des objets.
- L'organisation de ces objets se fait suivant une structure logique hiérarchique : le *Directory Information Tree* (DIT).
- Au sein de ce DIT, l'identification d'une entrée se fait à l'aide d'un nom, le *Distinguish Name* (DN).

# Concepts : LDAP, modèle de nommage

- Le *Directory Information Tree* (DIT)

Classification des entrées dans une arborescence hiérarchique (comparable au système de fichier Unix).

**Exemple de modélisation d'une organisation**




Chaque nœud de l'arbre correspond à une entrée de l'annuaire ou *directory specific entry* (DSE).

Au sommet de l'arbre se trouve l'entrée *Suffix* ou *Root Entry* ou *BaseDN*, qui caractérise une base LDAP.

# Concepts : LDAP, modèle de nommage

## Le suffixe

Le suffix définit l'espace de nommage dont le serveur a la gestion.

Un serveur peut gérer plusieurs arbres (donc plusieurs suffixes).

Il possède une entrée spéciale, appelée *root DSA Specific Entry* (rootDSE) qui contient la description du DIT (V3).

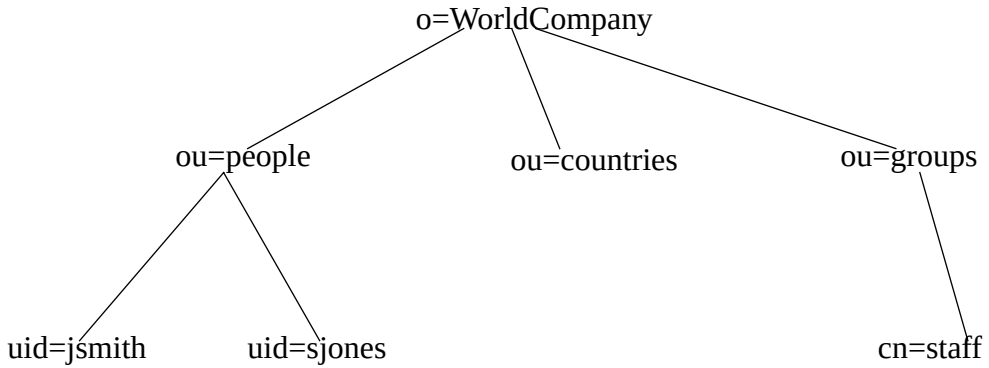
- Avec LDAP, vous êtes libres d'organiser vos données comme bon vous semble (*design du DIT*) (≠X500).
- Des contraintes (performance, gestion...) impliqueront de choisir tel ou tel type de modèle (cf § déploiement).

# Concepts : LDAP, modèle de nommage

- Le *Distinguished name* (DN)

Référence de manière unique une entrée du DIT (⇔ path fichier UNIX).

**Formé de la suite des noms des entrées, en partant de l'entrée et en remontant vers le suffix, séparé par des ",".**




Ex : le DN de l'entrée `jsmith` vaut :

**`uid=jsmith, ou=people, o=WorldCompany`**

Chaque composant du DN est appelé *Relative Distinguished Name* (RDN).

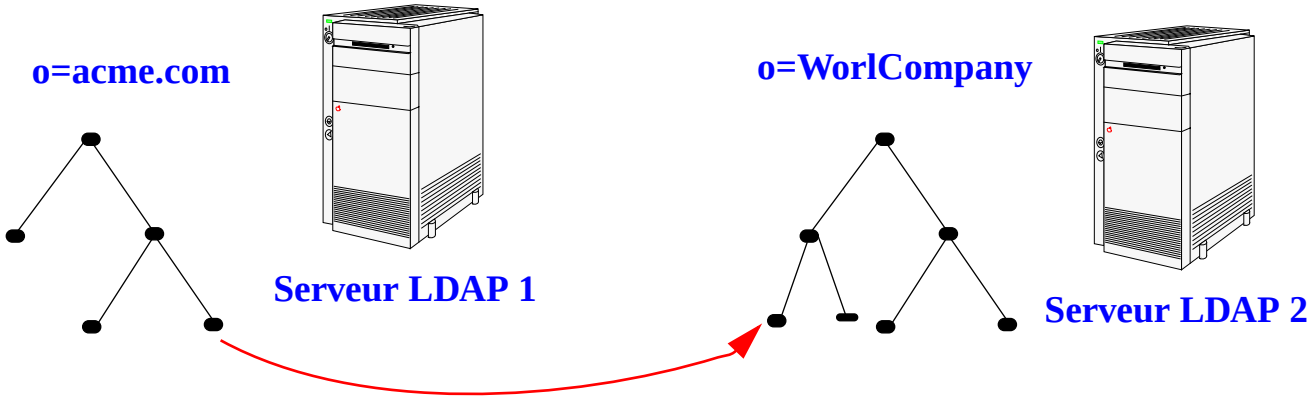
Le RDN est constitué d'un des attributs de l'entrée (et de sa valeur). Le choix de cet attribut doit assurer que 2 entrées du DIT n'aient pas le même DN.

# Concepts : LDAP, modèle de nommage

## ❑ Alias et referral

Deux objets abstraits particuliers : les *aliases* et les *referrals*

- ➞ permettent à une entrée de l'annuaire de pointer vers une autre entrée du même ou d'un autre annuaire.




- ➞ L'attribut `aliasObjectName` de l'objet `alias` a pour valeur le DN de l'entrée pointée.
- ➞ L'attribut `ref` de l'objet `referral` a pour valeur l'URL LDAP de l'entrée désignée.
- ➞ Les *referrals* sont traités au niveau du serveur en LDAP V2, par le client en V3

# Concepts : LDAP, modèle fonctionnel

- Le modèle fonctionnel décrit le moyen d'accéder aux données et les opérations qu'on peut leur appliquer.

Le modèle définit :

- Les opérations d'interrogation.
- Les opérations de comparaison.
- Les opérations de mise à jour.
- Les opérations d'authentification et de contrôle.
- Les opérations étendus (V3)

# Concepts : LDAP, modèle fonctionnel

## ❑ Interrogation

LDAP ne fournit pas d'opération de lecture d'entrée.

Pour connaître le contenu d'une entrée, il faut écrire une requête qui pointe sur cette entrée.

Une requête est composée de 8 paramètres :

**Tableau 2 :**

| | |
|---|---|
| `base object` | l'endroit de l'arbre où doit commencer la recherche |
| `scope` | la profondeur de la recherche |
| `derefAliases` | si on suit les liens ou pas |
| `size limit` | nombre de réponses limite |
| `time limit` | temps maxi alloué pour la recherche |
| `attrOnly` | renvoie ou pas la valeur des attributs en plus de leur type |
| `search filter` | le filtre de recherche |
| `list of attributes` | la liste des attributs que l'on souhaite connaître |

# ❑ Les filtres de recherche (RFC 2254)

**(<operator>(<search operation>)(<search operation>)...))**

**Tableau 3 : Exemples de filtres de recherche**

| | | |
|---|---|---|
| (cn=Norbert Durand) | égalité | Nom vaut "Norbert Durand" |
| (cn=*Mart*) | sous-chaîne | Nom contient "Mart" |
| (cn~=martin) | approximation | Nom sonne comme "martin" |
| (employeenumber>=100) | comparaison | Numéro supérieur à 100 |
| (sn=*) | existance | Tous les noms propres |
| (&(sn=Durand)(l=paris)) | ET | Nom vaut "Durand" ET localisation vaut paris |
| (\|(ou=gens)(ou=groupes)) | OU | ou vaut gens ou groupes |
| (!(tel=*)) | NON | Toutes les entrées sans attribut téléphone |

**Ex :**

**(&(objectclass=inetOrgPerson)(!(mail=*)))Toutes les entrées de type utilisateur sans adresse mail**

# Concepts : LDAP, modèle fonctionnel : mise à jour

- 4 opérations : `add, delete, rename, modify`

Ces quatre opérations nécessitent les droits d'accès appropriés et des prérequis :

- `add, rename` : entrée ne doit pas déjà exister, entrée doit avoir un parent existant
- `add, modify` : les attributs doivent être conformes au schéma
- `delete` : entrée ne doit pas avoir d'enfant

# Concepts : LDAP, modèle fonctionnel : Authentification

- Authentification et contrôle
- 3 opérations : `bind, unbind, abandon`
  - `bind` = connexion.
  - `unbind` = déconnexion
  - `abandon`= le client indique au serveur qu'il laisse tomber la requête qu'il avait envoyé. Celui-ci abandonne alors le process.

# Concepts : LDAP, modèle de sécurité

- Le modèle de sécurité décrit le moyen de protéger les données de l'annuaire des accès non autorisés.
- La sécurité se fait à plusieurs niveaux :
  - par l'*authentification* pour se connecter au service,
  - par un modèle de *contrôle d'accès* aux données,
  - par le *chiffrement* des transactions entre clients et serveurs ou entre serveurs.

## L'authentification

LDAP est un protocole avec connexion : l'ouverture de session (`bind`) s'accompagne d'une identification et, éventuellement, d'un mot de passe (optionnel en V3).

- *Anonymous authentification* - accès sans authentification permettant d'atteindre les données sans restrictions d'accès (V2, V3).
- *Root DN authentification* - accès administrateur (tous les droits) (V2, V3).
- *Mot de passe en clair* - un DN plus un password qui transite en clair sur le réseau (V2, V3).
- Kerberos V4 (V2)
- *Mot de passe + SSL (LDAPS) ou TLS* - la session est chiffrée et le mot de passe ne transite plus en clair.
- *Certificats sur SSL* - échange de certificats SSL (clefs publiques/privées).
- *Simple Authentification and Security Layer (SASL)* - mécanisme externe d'authentification (V3).

## Le contrôle d'accès

Le serveur attribue à l'utilisateur identifié, des droits d'accès aux données (*lecture*, *écriture*, *recherche* et *comparaison*), qui lui ont été définis par l'administrateur sous la forme d'ACLs.

Pas encore normalisé par l'IETF donc non compatibles entre serveurs.

- Netscape Directory : sous la forme d'un attribut *Access Control Items* (`aci`)
- OpenLDAP : sous la forme de directives de contrôle d'accès dans `slapd.conf`

## Le contrôle d’accès (suite)

- Les ACLs peuvent être "placées" au niveau des entrées, au sommet de l’arbre ou sur un sous-arbre.
- Elles agissent sur les entrées ou certains de leurs attributs.
- Elles s’appliquent à des individus ou à des groupes, mais aussi suivant les adresses IP ou les noms de domaine des clients ou les jours et heures.
- Le placement et la portée des ACLs dépendent des capacités du logiciel.

# Concepts : LDAP, modèle de duplication

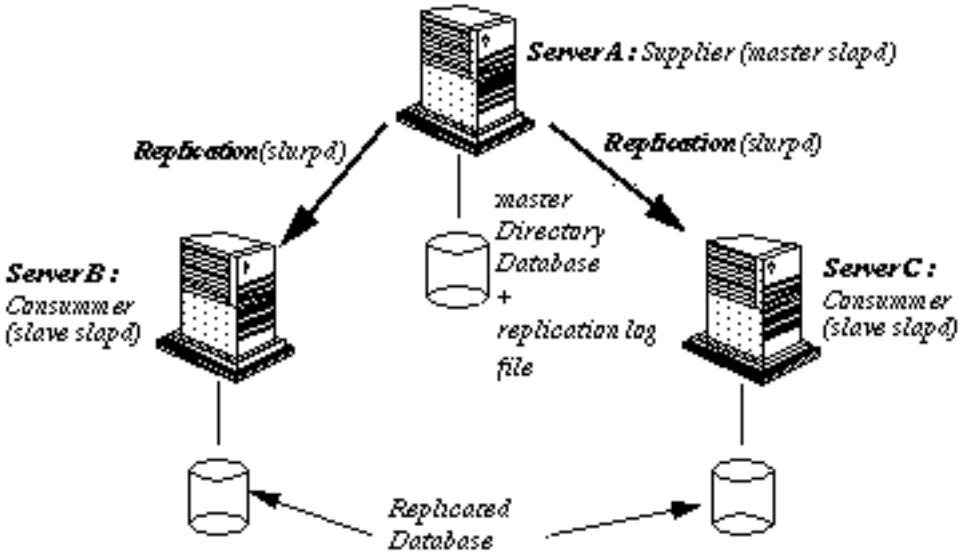
- Le modèle de duplication (*replication service*) définit comment dupliquer l'annuaire sur plusieurs serveurs.
- Dupliquer l'annuaire peut pallier à :
  - une panne de l'un des serveurs,
  - une coupure du réseau,
  - surcharge du service.

et garantir la qualité de service : temps de réponse et sûreté de fonctionnement.

- Permet également :
  - d'améliorer les performances en plaçant les serveurs près des clients
  - de répartir le travail entre plusieurs serveurs (load balancing)
  - de gérer les entrées localement et de les diffuser sur plusieurs sites.
- Pas encore standard, mais est proposé par la plupart des serveurs.
- L'IETF prépare le protocole LDUP.

# Concepts : LDAP, modèle de duplication

- La duplication met en jeu plusieurs serveurs : les *supplier servers* fournissent les données, les *consumer servers* les reçoivent.
- Les informations de configuration décrivant les suppliers, les consumers et quelles données ils échangent, forment le *replication agreement*.



# LDAP : LDIF

- LDAP Data Interchange Format (LDIF) est le standard de représentation des entrées sous forme texte.
- Utilisé pour afficher ou modifier les données de la base suivant deux modes :
  - faire des imports/exports de base,
  - faire des modifications sur des entrées.

# LDAP : LDIF

- Le format utilisé dans LDIF est l'ASCII.

Toute donnée non ASCII doit être encodé en base 64. Dans ce cas le séparateur entre le type et la valeur de l'attribut est « :: ».

```
jpegPhoto:: /9j/4AAQSkZJRgABAQAAAQABAAD//gBHQ1JFQVRPUjogWFYgVmVyc2lvbiAzLjEwI
   CBSZXY6IDEyLzE2Lzk0ICBRdWFsaXR5ID0gNzUsIFNtb290aGluZyA9IDAK/9sAQwAIBgYHBgUIB
   wcHCQkICgwUDQwLCwwZEhMPFB0aHx4dGhwcICQuJyAiLCMcHCg3KSwwMTQ0NB8nOT04MjwuMzQy/
```

LDAP V3 utilise le jeu de caractères *Unicode Transformation Format-8* (UTF-8) pour les attributs de type *texte* et les *DNs*.

UTF- 8 englobe tous les jeux de caractères (isoLatin, Shift- JLS...),

- annuaires multilingues : avec l'option *language code* de l'attribut (extension proposée par l'IETF) ().

```
description;lang-fr : texte en français
description;lang-ja : le même en japonais

(le code suit le standard ISO 639)
```

## Les URLs LDAP

- Les URLs LDAP (RFC-1959) permettent aux clients Internet d'avoir un accès direct au protocole LDAP.

```
syntaxe :
ldap[s]://<hostname>:<port>/<base_dn>?<attributes>?<scope>?<filter>

<base_dn>     : DN de l'entrée qui est le point de départ de la recherche
<attributes>  : les attributs que l'on veut consulter
<scope>       : la profondeur de recherche dans le DIT à partir du <base_dn>
      - base : s'arrête au niveau courant (par défaut)
      - one  : descend d'un niveau
      - sub  : parcourt tous les sous-niveaux
<filter>      : filtre de recherche, par défaut (objectClass=*)

exemples :

ldap://ldap.netscape.com/ou=Sales,o=Netscape,c=US
ldap://ldap.worldcompany.com/cn=John%20Smith,ou=people,o=worldcompany
ldap://ldap.worldcompany.com/o=worldcompany?mail,uid?sub?(sn=Smith)
```

# Déploiement

Déployer un service d'annuaire LDAP, c'est réfléchir à :

- la nature des données que l'on y met,
- la manière dont on les récupère,
- l'utilisation que l'on compte en faire,
- la façon de gérer le tout.

La mise en place d'un annuaire LDAP met donc en jeu plusieurs phases de conception que l'on va passer en revue.

# Déploiement : besoins en service d'annuaire

- Un annuaire LDAP = entrepôt d'informations facilement accessibles aux utilisateurs ou aux applications.

- Déployer un système d'annuaire se fait généralement sous la contrainte de la mise en place ou du remplacement d'une application.

  - ⇨ Se poser la question d'élargir le service à d'autres types d'applications
  - ⇨ Envisager toutes les applications possibles, actuelles ou futures, d'un annuaire.

# Déploiement : Données nécessaires

Il s'agit :

- ⇨ d'inventorier, suivant les applications, la liste des données à inclure dans le système d'information et leurs caractéristiques :
  - format
  - taille
  - nombre d'occurrence
  - droits d'accès
  - dynamiques ou statiques
  - partagées ou spécifiques à une application
- ⇨ de déterminer par quelle source les obtenir et les maintenir à jour.

# Déploiement : Données nécessaires

- Les sources de données courantes :
  - autre service d'annuaire ou bases systèmes (Unix NIS, DNS, NT domain controler...)
  - bases de données de l'organisation (base du personnel, base du PABX...)
  - fichiers textes ou feuilles de calcul d'utilisateurs
  - des bases propres à des applications (fichier `htpasswd` d'Apache, carnet d'adresses...)

- Les mécanismes de mise à jour envisageables :
  - synchronisation avec un SGBD
  - batches
  - saisie manuelle

# Déploiement : Données nécessaires

- Choisir, en fonction des données retenues, quelles classes d'objets et types d'attributs utiliser.
- Les schémas standards ou fournis avec les serveurs ne suffisent pas toujours.
- En règle générale, éviter de modifier le schéma existant car risque de rendre son annuaire inutilisable par les applications clientes ou les autres serveurs.
- Préférable de rajouter une classe d'objet et exploiter le mécanisme d'héritage d'attributs des classes objets.

# Déploiement : concevoir son modèle de nommage

Consiste à définir comment les entrées de l'annuaire vont être organisées, nommées et accédées.

- Dans cette phase, les paramètres qu'il faut prendre en compte sont :
  - Le nombre d'entrées prévu et son évolution ?
  - La nature (type d'objet) des entrées actuelles et futures ?
  - Vaudra-t-il mieux centraliser les données ou les distribuer ?
  - Seront-elles administrées de manière centrale ou faudra-t-il déléguer une partie de la gestion ?
  - La duplication est-elle prévue ?
  - Quelles applications utiliseront l'annuaire et imposent-elles des contraintes particulières ?
  - Quel attribut utiliser pour nommer les entrées et comment garantir son unicité ?

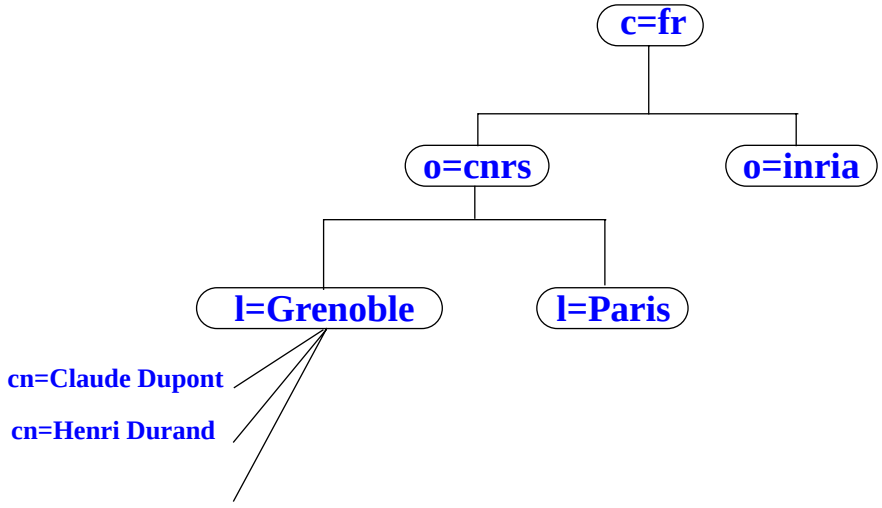
En fonction de ses priorités, on privilégiera tel ou tel espace de nommage.

# Déploiement : concevoir son modèle de nommage

## Design du Directory Information Tree

Le DIT X.500 est conçu dans l'optique d'un service global : il part du pays (top level) puis l'organisation, puis éventuellement la localisation...et il utilise l'attribut `cn` pour nommer les entrées.

**Exemple de DIT à la X.500**



## Design du DIT (suite)

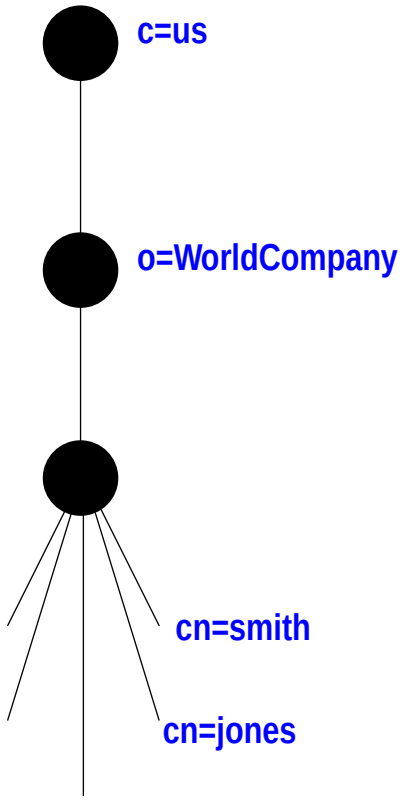
Le modèle LDAP, n'impose pas une racine universelle du DIT car il renonce à être un service d'annuaire mondial.

Dans ce cadre, le DIT peut être organisé de différentes façons :

- plat,
- découpé pour refléter l'organisation interne,
- branché par type d'objet,
- branché en vue de faciliter la duplication entre serveurs, la délégation de gestion, ou la définition de règles d'accès spécifiques à une branche.

## Design du DIT (suite)

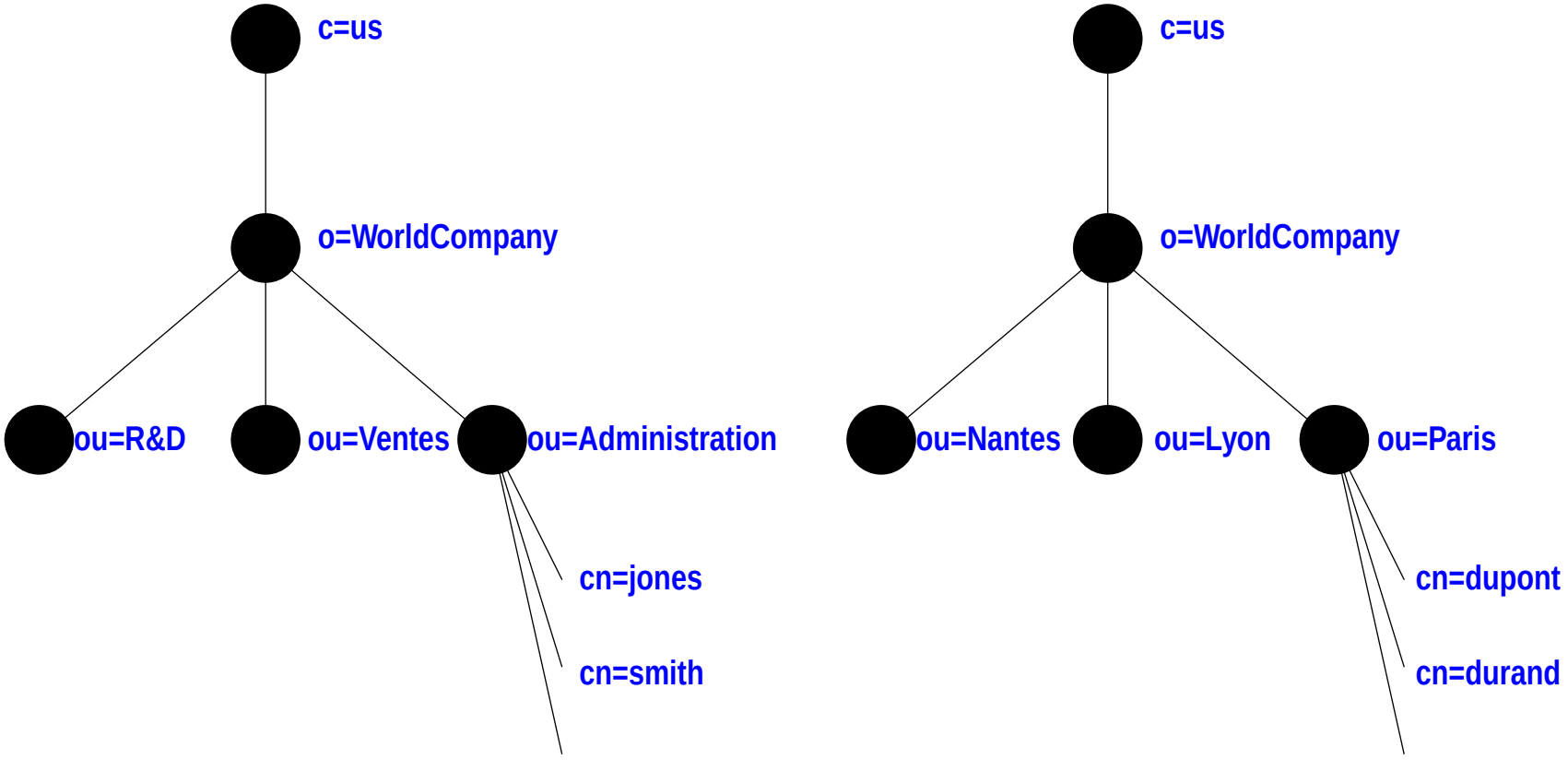
**Exemple : arbre plat**



# Déploiement : concevoir son modèle de nommage

## Design du DIT (suite)

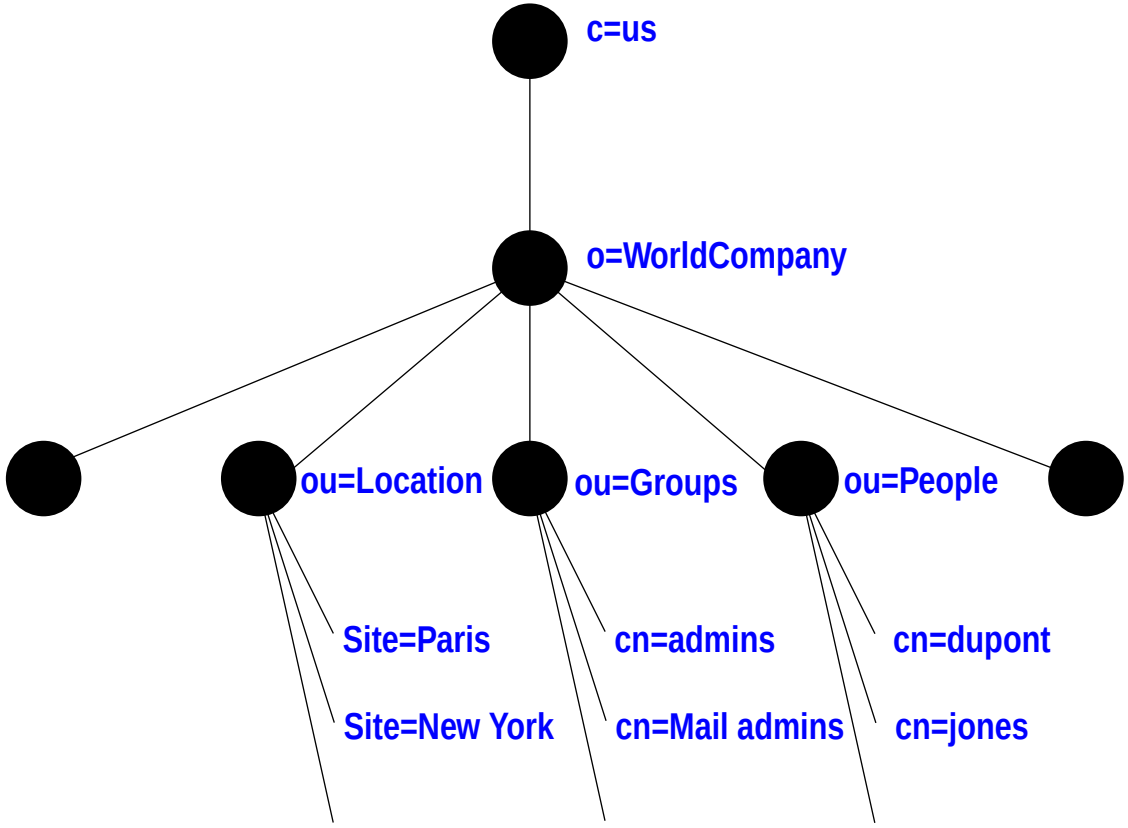
**Exemple : branchage par service ou par localisation**



# Déploiement : concevoir son modèle de nommage

## Design du DIT (suite)

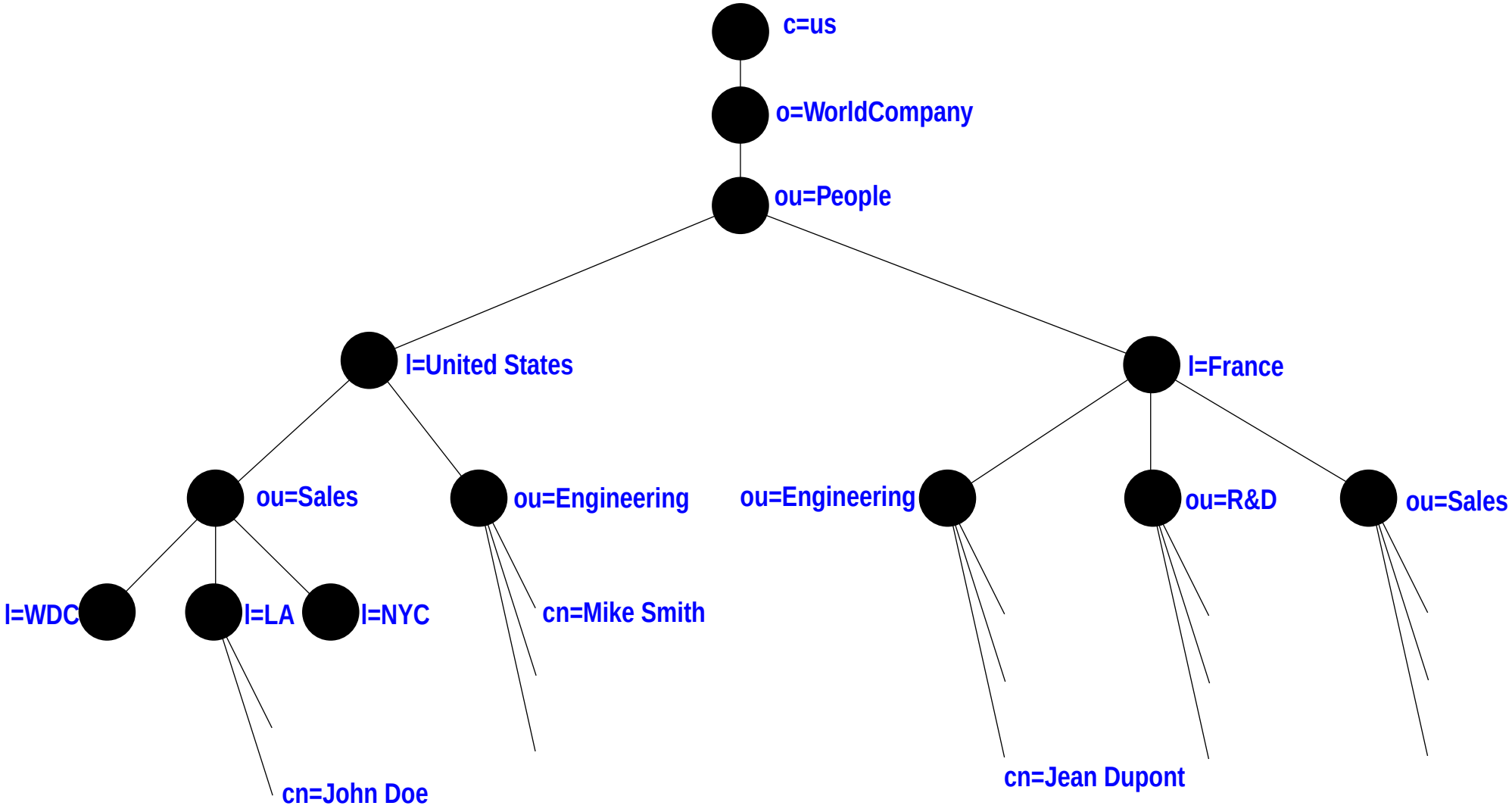
**Exemple : branchage par type d'objet**



# Déploiement : concevoir son modèle de nommage

## Design du DIT (suite)

**Exemple : branchage fort**



# Design du DIT : branchage fort ou faible ?

| Fort : les plus | Faible : les plus |
|---|---|
| Reflète l'organisation interne.<br>Minimise le problème de DNs identiques.<br>Facilite le partitionnement des données entre plusieurs serveurs. | Pas de soucis de classification des entrées<br>DN courts<br>stabilité du DIT<br>Meilleurs rapidité de recherche. |
| **Fort : les moins** | **Faible : les moins** |
| Longueur du DN.<br>Problème si l'organisation change.<br>Durée de recherche augmentée. | Risque de DNs identiques.<br>Mal adapté au listage des entrées |

# Déploiement : concevoir son modèle de nommage

## Choix du suffixe

Le suffixe = identifiant de l'annuaire.

Même si la base n'a qu'une vocation interne , elle peut à terme s'externaliser.

→ Choisir, si possible, un suffixe unique au monde.

Dans X.500 le top level est le pays, vient ensuite le nom de l'organisation, et éventuellement la localisation.
Ce qui donne par exemple comme suffixe : `o=World Company, c=us`

Aucun organisme de contrôle d'attribution des suffixes :

→ Pas de garantie de l'unicité de celui-ci.

Entre temps, l'Internet s'est développé :

→ NIC gère l'attribution des noms de domaines DNS.

Le choix du nom de domaine DNS comme suffixe de son annuaire est recommandé par l'IETF IDS group.

# Déploiement : concevoir son modèle de nommage

## Choix du suffixe (suite)

Il pourra s'exprimer sous deux formes :

- utilisation de l'attribut organization (o) :
  o=world-company.com
- utilisation de l'attribut Domain Component (dc) défini par le RFC 2377 :
  dc=world-company, dc=com

Cette dernière forme est préconisée par l'IETF.

Couplée avec le Service Record du DNS (SRV), permet de déterminer automatiquement le serveur LDAP à contacter, à partir du DN utilisé dans une requête.

**le DN** uid=jones,ou=people,dc=World-Company,dc=com **renvoie sur le domaine DNS** World-Company.com.

**Requête sur l'entrée** SRV **du DNS de** World-Company.com

```
_ldap._tcp.World-Company.com.  IN   SRV   0 0 389 ldap.World-Company.com
```

**Déduction : serveur :** ldap.world-company.com **- port :** 389

# Déploiement : concevoir son modèle de nommage

## Nommage des entrées : choix du RDN

Exemples :

```
dn = cn=robert jones,ou=people,dc=world-company,dc=com
dn = uid=rdupont,ou=people,dc=world-company,dc=com
```

- Problèmes :
  - garantir l'unicité
  - éviter les changements de DN
  - donner une information pertinente
  - prise en compte des clients

Recommendations de lETF : Identification des utilisateurs par leur email

```
dn = uid=rdupont@world-company.com,ou=people,dc=world-company,dc=com
```

# Déploiement : Définir la topologie du service

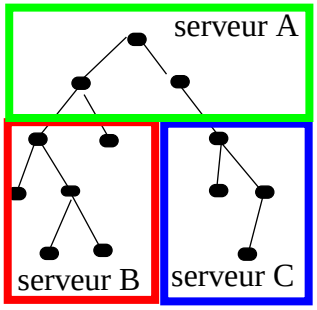
Analyser la manière dont le service d'annuaire LDAP va être rendu en termes de performance, de fiabilité et de facilité de gestion.

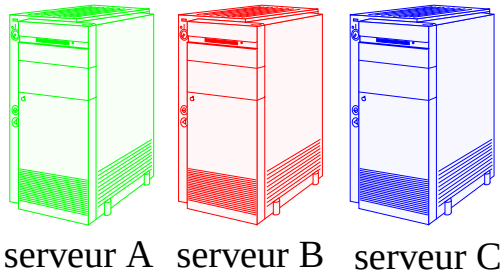
- Prendre en compte :
  - Les applications qui vont utiliser l'annuaire et leur nombre d'utilisateurs.
  - Les capacités du logiciel serveur qui va être choisi.
  - La topologie de son réseau.
  - Le design de son espace de nommage.
- Déterminer :
  - si la base sera centralisée ou répartie sur plusieurs serveurs.
  - le nombre de serveurs redondants à déployer et leur emplacement sur le réseau physique.

# Déploiement : Définir la topologie du service

## Le partitionnement

Consiste à éclater les données de l'annuaire sur plusieurs serveurs.




Il peut être imposé par :

- le volume d'entrées à gérer,
- leur gestion répartie sur plusieurs sites,
- les types d'accès au réseau physique,
- le mode d'organisation de la société.

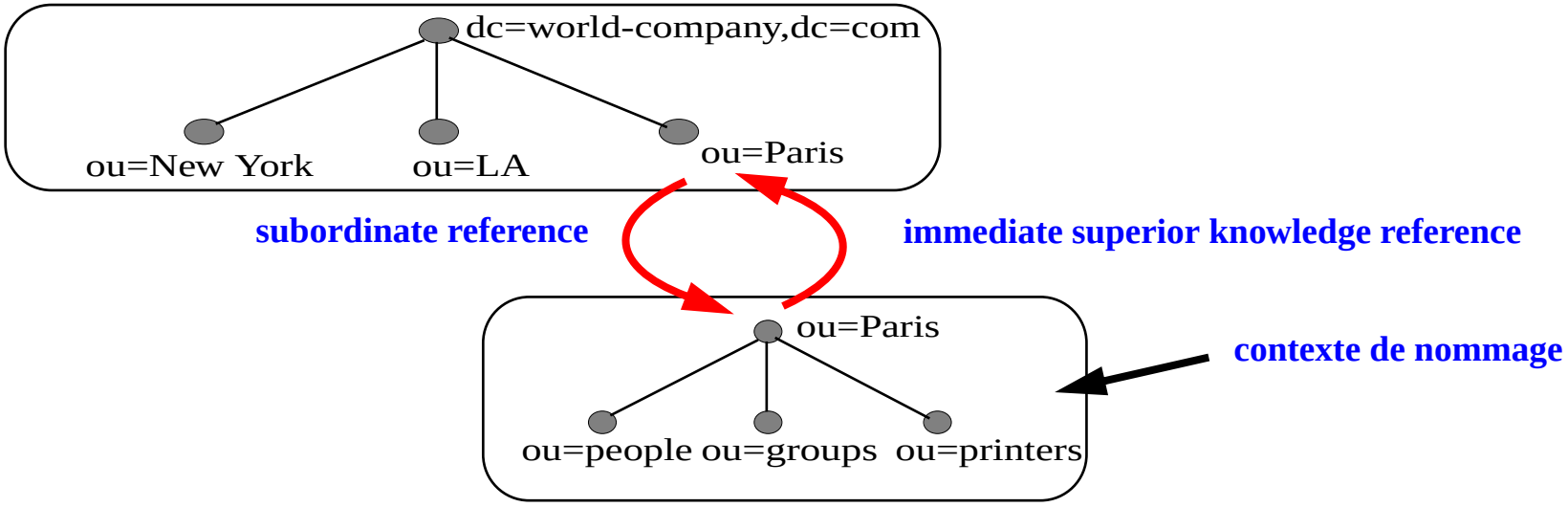
Séparer les données ne veut pas dire forcément les dissocier : les standards LDAP et X.500 définissent des moyens de les relier (re-coller).

→ Ces moyens sont les services "*referral service*" et "*replication service*".

# Déploiement : Définir la topologie du service

## Le referral service (suite)

Les méthodes permettant de créer des liens virtuels entre des partitions d'annuaires sont appelées les *knowledge references*.




Les *knowledge references* permettent à un serveur de faire suivre les requêtes des utilisateurs lorsque l'objet recherché n'appartient pas à l'arbre qu'il gère.

# Déploiement : Définir la topologie du service

## Le replication service

La duplication consiste à recopier le contenu de tout ou partie de son arbre sur un autre serveur (voir § LDAP-Concepts)

Son but :

- rapprocher le service du réseau physique des clients (performances),
- répartir la charge sur plusieurs serveurs (load balancing),
- assurer une redondance en cas de panne (disponibilité),
- gérer localement des entrées et les diffuser dans l'organisation (partitionnement).

Le *replication service* est LE moyen d'assurer un service d'annuaire fiable, hautement disponible, et performant.

# Déploiement : mettre en service la duplication

## ❑ Duplication totale/incrémentale

La synchronisation peut être *totale* ou *incrémentale*. Dans ce cas, le processus de synchronisation utilise un historique des mises à jours.

- Duplication à heures fixes

  Certains logiciels permettent de différer les mises à jours à certains horaires.

  → Utile dans le cas de liaisons réseau non permanentes ou chargées par périodes.

- Duplication basée sur les attributs

  X.500 prévoit la possibilité de filtrer les données dupliquées par une sélection d'attributs.

  → sélection d'objets via filtre sur l'attribut *objectclass*,

  → sélection de certains attributs (`uid, password`...) pour filtrer les données confidentielles, par ex.

# Déploiement : mettre en service la duplication

- Schéma et duplication

  A partir du moment où ils partagent les mêmes données, il est impératif que *supplier servers* et *consumer servers* utilisent le même schéma.

- Contrôle d'accès et duplication

  Le contrôle d'accès se fait via des ACLs. Il est nécessaire de dupliquer ces ACLs pour que les mêmes protections s'appliquent sur les données dupliquées et originales...

  → ...Consumers et suppliers doivent interpréter de la même manière ces ACLs (pas normalisées...) : donc utiliser le même logiciel...

  Pratiquement tous les logiciels stockent les ACLs en tant qu'attribut d'entrées de l'annuaire.
  Parfois ces ACLs s'appliquent aux entrées inférieures (scope)...

  → ...Vérifier que ces ACLs sont bien dans la partie dupliquées du DIT ou comment c'est pris en compte par le logiciel.

# Déploiement : mettre en œuvre le partitionnement

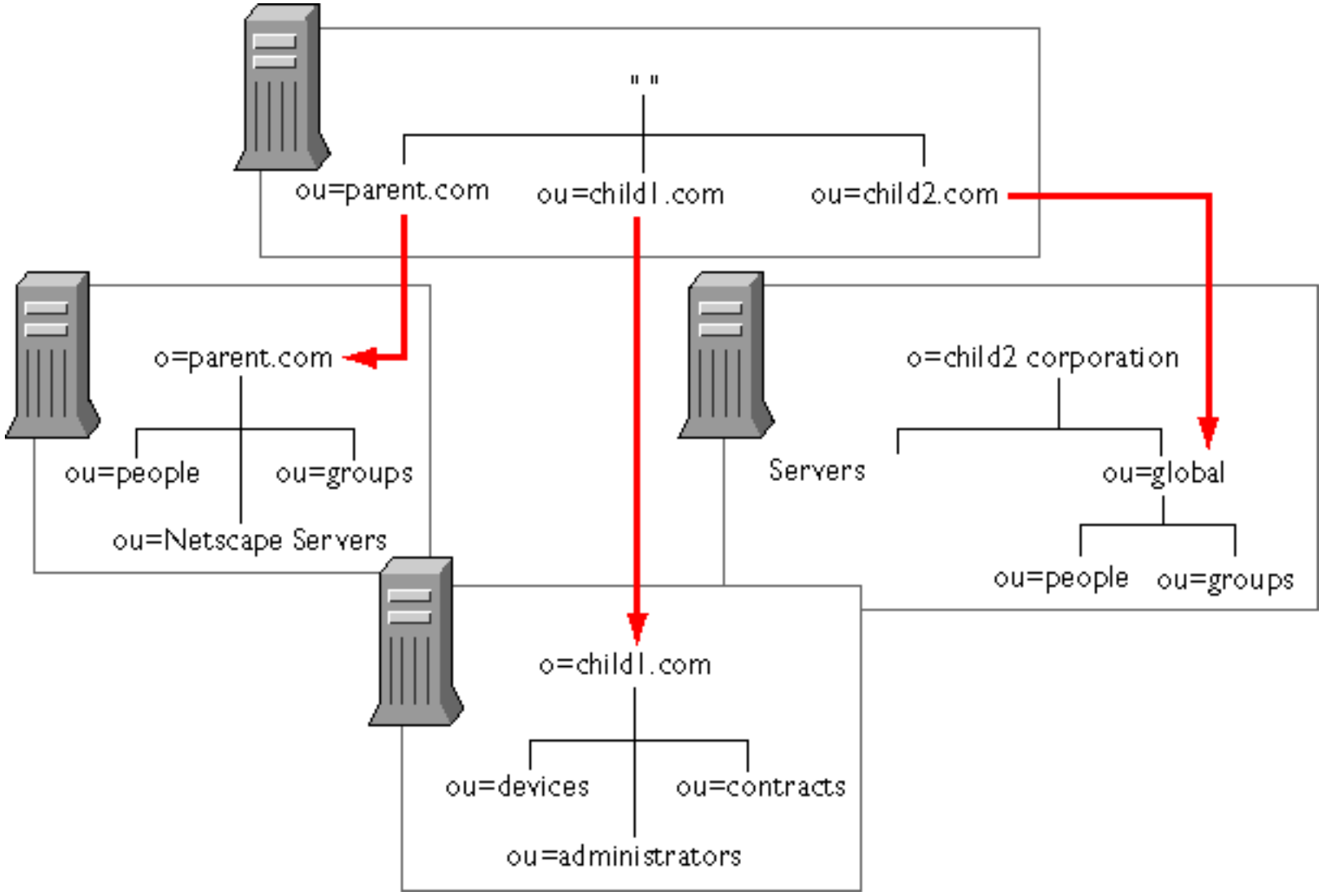
Le partitionnement est une solution pour les trop gros volumes d'entrées (> 10000), ou des organisations éclatées en unités autonomes.

Quelques précautions :

- limiter les *referrals* à des suffixes ou des branches principales de l'arbre (ne pas s'en servir comme *alias* pour des entrées),
- maintenir la cohérence des liens... et vérifier la disponibilité du serveur distant,
- attention au contrôle d'accès et à l'authentification : les authentifications et les règles d'accès du serveur initial ne s'appliquent plus aux données du serveur pointé,
- attention au temps de réponse : traversée de réseaux WAN,
- problème de sécurité : les données transitent sur les réseaux WAN...

# Déploiement : mettre en œuvre le partitionnement

**Cas d'une organisation large : multi-site, multi-suffixe, multi-serveur (source Netscape)**



# Déploiement : sécuriser le service

Les aspects sécurité et confidentialité doivent être pris en compte dès la phase de conception. Quels sont les aspects à étudier ?

- Les accès non autorisés.
- Les attaques de type denial-of-service.
- Les droits d'accès aux données.

Le gros du travail est de déterminer les règles d'accès aux données.

Le serveur peut être de type read-only ou read-write. Dans les deux cas il faut déterminer pour chaque attribut :

- → Quel est son niveau de confidentialité (un numéro de sécurité sociale est une donnée plus sensible qu'une adresse mail) ?
- → Quel utilisateur ou quelle application pourra y accéder en lecture (tout le monde, certains utilisateurs, uniquement les administrateurs...) ou en écriture (utilisateur, manager, administrateur) ?

# Déploiement : sécuriser le service

Les mécanismes qui peuvent être mis en œuvre sont ceux que l'on retrouve dans nombre de services/serveur de l'Internet :

- L'authentification
- Les signatures électroniques
- Le chiffrement
- Le filtrage réseau
- Les règles d'accès (ACLs LDAP) aux données
- L'audit des journaux

# Mettre en place des règles de contrôle d'accès

→ Etape 1 : analyser pour chaque attribut son mode d'accès :

**Tableau 4 :**

| Attribut | Personne | Droit d'accès |
|---|---|---|
| `cn,sn,givenname` | **tous**<br>**administrateur** | **lecture**<br>**lecture/modification** |
| **uid** | **utilisateurs authentifiés**<br>**administrateur** | **lecture**<br>**lecture/modification** |
| `telephoneNumber` | **tous**<br>**propriétaire**<br>**administrateur** | **lecture**<br>**lecture/modification**<br>**lecture/modification** |
| `employeeNumber` | **tous**<br>**manager**<br>**administrateur** | **lecture**<br>**lecture/modification**<br>**lecture/modification** |

# Déploiement : sécuriser le service

## Mettre en place des règles de contrôle d'accès

→ Etape 2 : traduire ces règles en aci (LDIF)

Exemple pour attribut `telephoneNumber`

```
règle pour tous
aci: (target="ldap:///ou=people,dc=world-company,dc=com)
  (targetattr="telephonenumber")
  (version 3.0;acl "anonymous read-search access";
   allow (read,search,compare) (userdnattr="manager");)

règle pour administrateur
aci: (target="ldap:///dc=world-company,dc=com)
  (targetattr="*")
  (version 3.0;acl "Admin write access";
   allow (write) (userdn="ldap:///cn=Directory Manager");)

règle pour propriétaire
aci: (target="ldap:///ou=people,dc=world-company,dc=com)
  (targetattr="telephonenumber||roomnumber||userpassword")
  (version 3.0;acl "self write access";
   allow (write) (userdn="ldap:///self");)
```

## Mettre en place des règles de contrôle d'accès

→ Etape 2 : traduire ces règles en aci (suite)

Exemple pour attribut `employeeNumber`

règle pour manager

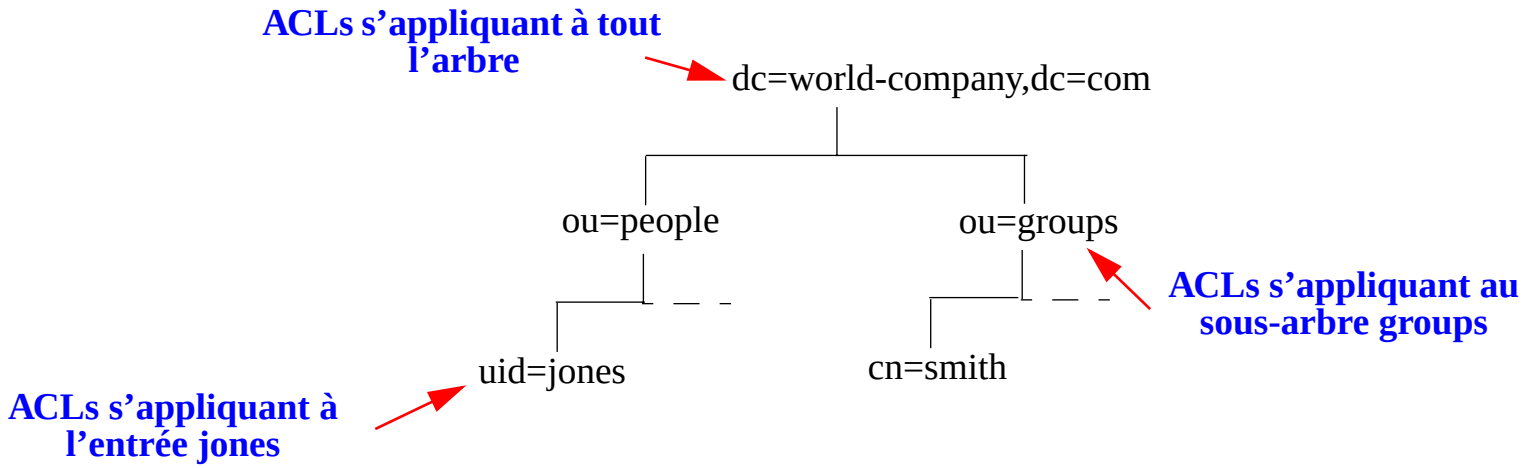
```
aci: (target="ldap:///ou=people,dc=world-company,dc=com)
  (targetattr="employeenumber")
  (version 3.0;acl "manager write access";
  allow (read,write) (userdnattr="manager");)
```

avec l'attribut `manager` indiquant le DN du manager de l'entrée

```
dn: cn=John Smith,ou=people,dc=world-company,dc=com
objectclass: top
objectclass: person
cn: John Smith
manager: cn=Bill Baxter, ou=people,dc=world-company,dc=com
...
```

## Mettre en place des règles de contrôle d'accès

Le placement des ACLs influe sur leur portée.



# Déploiement : gestion des données

Etablir une méthode de gestion des données, selon la nature des attributs, pour déterminer qui administre quels attributs et dans quelle partie du DIT.

On distingue plusieurs catégories de gestion :

- attributs maintenus par l'administrateur de l'annuaire (contrôle d'accès...)
- attributs maintenus par les fournisseurs de données (service du personnel...)
- attributs maintenus par l'utilisateur final (photo, téléphone...)
- attributs maintenus par les applications (préférences...)
- attributs maintenus par le service d'annuaire lui-même

Pour chacune, il faut définir la méthode et la fréquence de mise à jour, évaluer la qualité des données et évaluer l'incidence sur les performances du serveur.

# Déploiement : gestion des données

A terme, les attributs maintenus par les applications deviendront majoritaires.

Ces applications doivent respecter certaines règles pour optimiser les performances du serveur :

- minimiser les connexions en groupant les opérations
- optimiser le nombre d'opération : rechercher plusieurs attributs d'un coup, ne récupérer que les attributs nécessaires, faire des recherches efficaces
- minimiser les mises à jours

# Déploiement : gestion des données

Les attributs maintenus de manière centralisées font l'objet des choix suivants :

- mise à jour par commande ou par import de fichier
- protéger les transactions de mises à jours de données sensibles
- qui fait les mises à jour (personnes, scripts...)
- quelle fréquence
- vérifier les données en amont

# Déploiement : gestion des données

Les attributs maintenus par l'utilisateur présentent les caractéristiques suivantes :

- source d'information, d'où des données plus à jour (bureau, téléphone...)
- implication des utilisateurs
- risque de saisies erronées ou invalides
- disposer d'une interface spécifique de mise à jour
- attention à la fréquence globale de mise à jour et son impact sur les performances

# Logiciels serveurs

- Concepts
- Déployer un service LDAP

❑ **Les logiciels serveurs**

- Les clients LDAP
- Les outils de développement
- Les applications de LDAP aujourd’hui et demain
- Bibliographie

# Logiciels serveurs

Principaux serveurs LDAP :

- **OpenLDAP server,**
- **Innosoft’s Directory Services (IDS),**
- **Netscape Directory Server,**
- **Sun Microsystems’s iPlanet Directory Server,**
- **Oracle Internet Directory,**
- **Novell’s NDS eDirectory,**
- **Microsoft’s Active Directory (AD),**
- **Lotus Domino Directory Services.**
- **University of Michigan’s SLAPD.**

## Choisir un logiciel serveur : quelques critères de choix

- ⇨ le prix d'achat
- ⇨ les coût de maintenance et de support
- ⇨ l'adéquation du logiciel avec le type d'applications envisagées : détermine l'importance à accorder aux critères d'évaluations (performances, nombre d'entrées supportés, niveau de sécurisation...)
- ⇨ la facilité de prise en main
- ⇨ l'adéquation entre son choix de design et les fonctionnalités du logiciel (schéma, replication, referral...)
- ⇨ la compatibilité avec le logiciel antérieur (réutilisabilité)

# Choisir un logiciel serveur : quelques critères d'évaluation

- → les fonctionnalités de base
  - **les plates-formes hardware/software supportées**
  - **le schéma et ses extensions**
  - **les opérations LDAP standards et étendues**
  - **les possibilités de duplication**
  - **le support de la distribution (referral, chaining)**
  - **outils d'import-export, de backup**
- → les outils de gestion
  - **procédure d'installation**
  - **outils de configuration et d'administration (interface web, commandes en ligne pour automatisation...)**
  - **interfaces de gestion de la base (clients natifs, web, commandes en ligne...)**
  - **possibilité d'administrer à distance**

# Logiciels serveurs

- Choisir un logiciel serveur : quelques critères d'évaluation (suite)
  - → Les outils de développement
    - **API**
    - **SDK**
    - **logiciels clients**
  - → la fiabilité
    - **sauvegardes et modifications de configuration à chaud**
    - **mécanismes de *replication* multi-master**
    - **outils de monitoring**
    - **qualité de la base de données utilisée en cas d'arrêt intempestif**

# Logiciels serveurs

- Choisir un logiciel serveur : quelques critères d'évaluation (suite)
  - → performance et évolutivité
    - **temps de latence**
    - **nombre d'opérations par seconde**
    - **nombre de connexions simultanées**
    - **nombre d'entrées, d'attributs et taille supportés**
    - **nombre de replicas et de partitions supportés**
    - **benchmark DirectoryMark (**`http://www.mindcraft.com/benchmarks/dir-mark)`
  - → sécurité
    - **méthodes de contrôle d'accès**
    - **gestion des droits d'accès**
    - **méthodes d'authentification**
    - **chiffrement des transactions, de la duplication**

# Logiciels serveurs

- Choisir un logiciel serveur : quelques critères d'évaluation (suite)
  - → conformité aux standards
    - **LDAPv2 core : RFC1777-1779**
    - **LDAPv3 core : RFC2251-2256**
    - **LDAPv3 extension**
    - **LDIF**
    - **API**
    - **SSL/TLS, certificats X509**
    - **schémas standards**
    - **standards X.500**
  - → interopérabilité

Le respect des standards est une première garantie d'interopérabilité

## Choisir un logiciel serveur : évaluation

- comparer les fonctionnalités
- tester les softs sur une base pilote
- faire quelques benchmarks

# Clients LDAP

- **Accès natif :**
  - **Netscape Communicator**
  - **Microsoft Outlook, NetMeeting**
  - **Netscape SuiteSpot (les serveurs mail, news, web...)**
  - **Oblix (gestionnaire d'annuaire)**
  - **Navigateur Web : URLs LDAP**
  - **U-Mich xaX.500**
  - **GQ (GTK-based LDAP client)**
  - **LDAP Browser/Editor (Java-based LDAP client)**
  - **Applications développées avec un SDK LDAP**
- **Accès via passerelle :**
  - **LDAP vers X.500 et X.500 vers LDAP**
  - **HTTP vers LDAP (web500gw)**
  - **WHOIS++ vers LDAP**
  - **FINGER vers LDAP**
  - **PH/CSO vers LDAP**

## Appels systèmes LDAP

- **Microsoft Windows NT**
  **NT 5 utilise une base LDAP à la place des bases SAM**
- **PADL software :**
  **ypldapd : a gateway between NIS/YP and LDAP**
  **NSS LDAP : Nameservice switch library module**
  **PAM LDAP : Pluggable authentication module**
- **Sun Solaris**
  **NSS : Nameservice switch library module**
- **Linux**
  **Linux Directory Services : projet de remplacement de NIS par LDAP**

# Les outils de développement

- U-M LDAP SDK (C) (UMich OpenLDAP)
  - → **le premier**
- Netscape C SDK
  - → **complet, proche du précédent**
- Netscape PerLDAP SDK
- Netscape JAVA SDK
- Netscape Directory Server Plug-Ins

# Les outils de développement

- Java naming and Directory Interface (JNDI) -- Java (SUN)
  - → **conçu comme interface à différents protocoles de type annuaire (LDAP, Sun NIS/NIS+, Novell NDS...).**
- Active Directory Service Interfaces - COM (Microsoft)
  - → **concept similaire à JNDI.**
- Net- LDAPapi -- PERL (GNU)
  - → **comme PerLDAP mais entièrement en Perl.**
- LDAP API to Python -- Python (University of Queensland)
  - → **langage orienté développement d'interface graphique.**

# Les outils de développement

- LDAP API to PHP (`http://www.php.net`)
  - → **langage de script orienté Web - server-side dynamic HTML.**
- DSML -- Directory Service Markup Language (`http://www.dsml.org/`)
  - → **standard pour représenter des informations issues de service d'annuaire en XML.**
- Innosoft LDAP Client -> iPlanet

# Les outils de développement

- PS Enlist - ODBC interface to LDAP (`http://www.pspl.co.in/PSEnList`)
  - → **accès à LDAP via ODBC (i.e. accèder à LDAP depuis MS Office !).**
- Server-Side Javascript LDAP SDK -- JavaScript (Netscape)
  - → **module orienté Web - dynamic HTML pour les serveurs Web Netscape SuiteSpot.**
- ColdFusion (Allaire)
  - → **Langage/outil de développement orienté Web - database, s'interfaçant avec LDAP.**

# Les applications de LDAP

- Les différents domaines d'application possibles des annuaires LDAP :
  - → Les applications système
  - → Les applications Intranet/Extranet
  - → Les applications réseau
  - → Les bases de données

# Les applications de LDAP : applications systèmes

- Les applications systèmes

Authentification des utilisateurs, contrôle d'accès, localisation des imprimantes ou des serveurs de fichier...

Dans ce cas, il est étroitement lié au système d'exploitation.

De plus en plus de fabricants se tournent vers le standard LDAP pour l'implanter dans leur système.

Exemple : Windows 2000, Novell, Solaris, Linux...

# Les applications de LDAP : applications intranet

- Les applications Intranet

Le service d'annuaire sert typiquement aux applications utiles à l'utilisateur final :

- **accès à des pages Web (pouvant être personalisées)**
- **portails**
- **annuaire téléphonique ou pour la messagerie électronique, listes de diffusion**
- **profils de configuration... (Netscape suitespot, Lotus Domino...)**
- **gestion d'abonnements chez les ISPs**
- **...**

# Les applications de LDAP : applications extranet

- Les applications Extranet

Échange d'informations entre un fournisseur et ses sous-traitants, une banque et ses clients...

# Les applications de LDAP : bases de données

## ❑ Les bases de données

L'annuaire peut remplacer un SGBD traditionnel dans le cas de données simples, intensivement interrogées, distribuées à large échelle et utilisées par des multiples applications (fichier clientèle, catalogues de fournitures...).

Il peut épauler un SGBD, en étant synchronisé avec lui, pour faciliter la consultation des données ou la mise à jour de certains champs.

Souvent, l'organisation possède plusieurs bases de données déconnectées et gérant des informations redondantes :

- **la paye**
- **le bureau du personnel**
- **les comptes informatiques**
- **les badges d'accès**
- **les cartes de restaurants...**

Un annuaire LDAP peut fédérer les données communes (informations sur les employés), les données sensibles étant gérées dans les SGBD => Meta-Directory.

# Les applications de LDAP : applications réseau

- Directory Enabled Networks (DEN)
  - → gestion des équippements réseau à travers un annuaire LDAP
  - → ACLs, configuration, QoS, authentification,...
  - → **Consortium pour définir un modèle d'information standard facilitant le développement d'applications reseaux « Directory-Enabled » interopérables.**
  - → **Faciliter l'accès des utilisateurs aux services réseaux : authentification, droits d'accès...**

# Tendances

- multiplication des méta-annuaires
- intégration des annuaires dans les OS
- tendance à utiliser LDAP comme un protocol léger d'accès à des bases de données
- prédominance de LDAP
- mais attention : un annuaire LDAP n'est pas un remède magique
  - → cela ne marche pas tout seul
  - → ce n'est pas un SGBD
  - → de mauvais choix initiaux peuvent compliquer les futures évolutions
  - → attention à la sécurité des données
  - → peut représenter une couche (et donc un niveau de complexité) supplémentaire
  - → L'annuaire unique peut rester une utopie

# Bibliographie

- La rubrique LDAP du CRU :

  **`http://www.cru.fr/ldap/`**
- Le tutorial complet dont ce document reprend des extraits :

  **`http://www.cru.fr/ldap/tutorial/tutorial_ldap.pdf`**
- Linux LDAP services:

  **`http://www.rage.net/ldap/`**
- OPenLDAP.org:

  **`http://www.openldap.org`**
- Netscape Deployment Guide:

  **`http://developer.netscape.com/docs/manuals/directory/deploy30/index.htm`**
- LDAP FAQ:

  **`http://www.critical-angle.com/ldapworld/ldapfaq.html`**
- LDAP roadmap and FAQ:

  **`http://www.kingsmountain.com/ldapRoadmap.shtml`**
- LDAP Central

  **`http://www.ldapcentral.com/`**
- Understanding and deploying LDAP directory services, T. Howes, M. C. Smith, G. Good; Macmillan