Systèmes de fichiers réseau
Stockage objet

Module Admin Sys Réseau – S25E02

Philippe Latu / Université de Toulouse
inetdoc.net

Le système de fichier réseau fournit une abstraction aux systèmes.

Le stockage objet fournit une abstraction aux applications.

Le plan

- Forces / Faiblesses
- Topologie d’un réseau de stockage
- Système de fichiers virtuel
- Appels de procédures RPC
- Système de fichiers NFS
- Système de fichiers SMB
- Stockage Objet

Forces / Faiblesses
des systèmes de fichiers réseau

Les forces des systèmes de fichiers réseau

- Partage « 1 vers n »
  - Stockage à grande échelle
    - Nombreux clients hétérogènes
  - Point ressource unique → Le **serveur NAS**
    - Limitation du nombre de copies / Moins d'incohérences
    - Instantanés / Sauvegardes faciles à gérer
- Gestion des verrous côté serveur
  - N conteneurs d'application pour 1 même stockage persistant

Les faiblesses des systèmes de fichiers réseau

- Performances
  - Coût CPU élevé côté serveur
  - Sensibilité aux ruptures de communication
    - Mobilité « limitée » côté client
  - Sensibilité à la latence et à la gigue réseau
    - Éviter les applications transactionnelles
- Sécurité
  - Gestion des autorisations d’accès depuis les clients

Topologie d’un réseau de stockage

Topologie type : avant / arrière plan

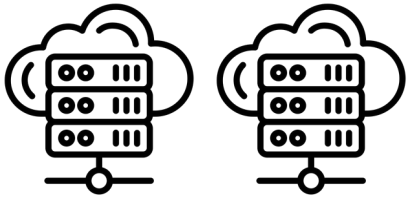
frontend | *backend*

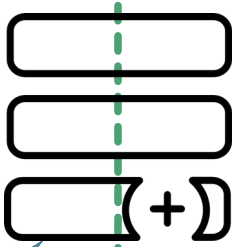
Relations au réseau de stockage

Hôte ↔ Hôte

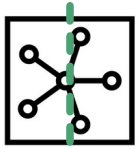
Client ↔ Serveur

Application ↔ Système de fichiers





Service de stockage NAS



Relations : SAN ou VFS noyau

Hôte ↔ stockage

Système de fichiers ↔ périphérique

Application ↔ périphérique

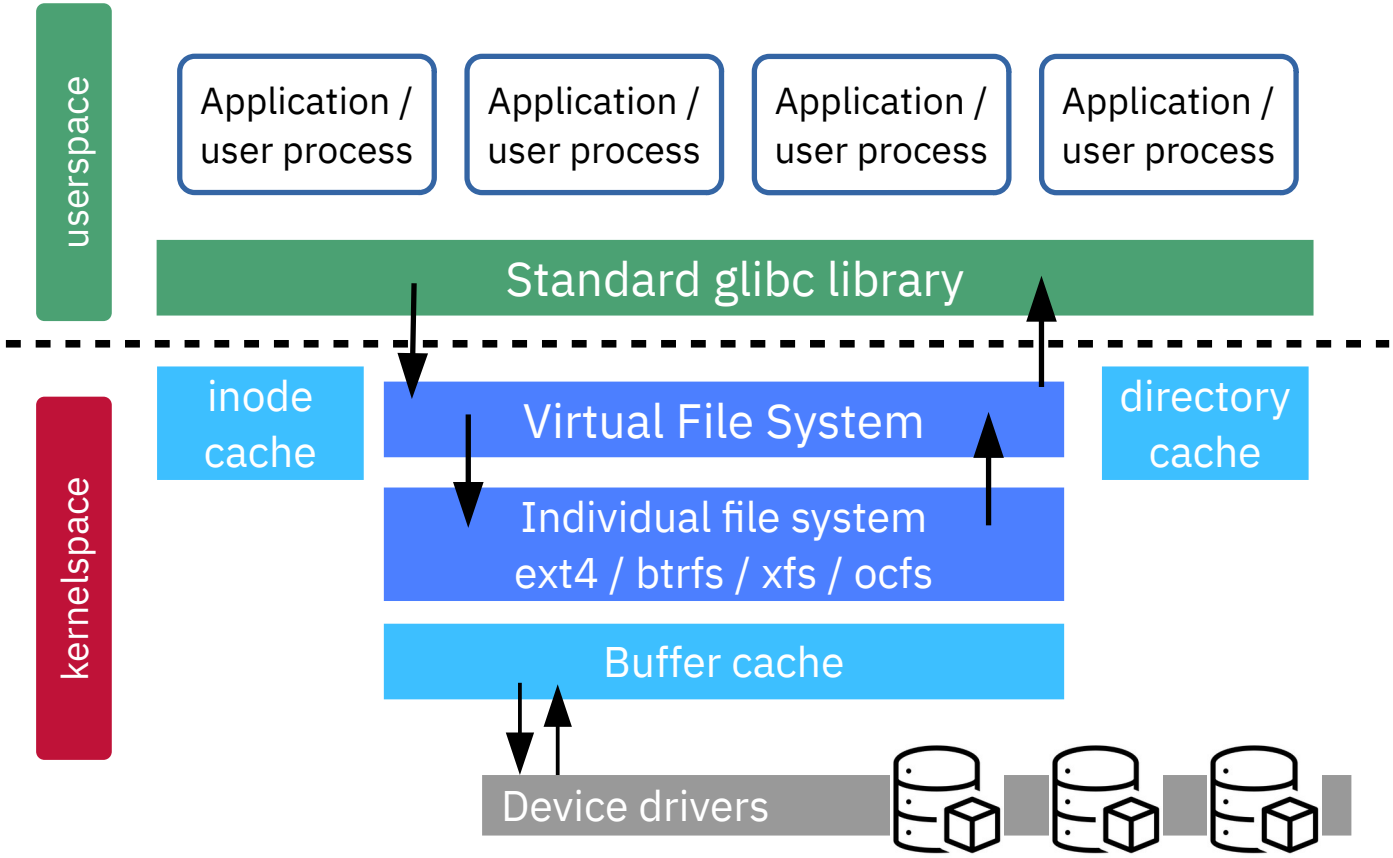
Système de fichiers virtuel

Pourquoi virtualiser le système de fichiers à l’échelle d’un système ?

Systèmes de fichiers virtuels

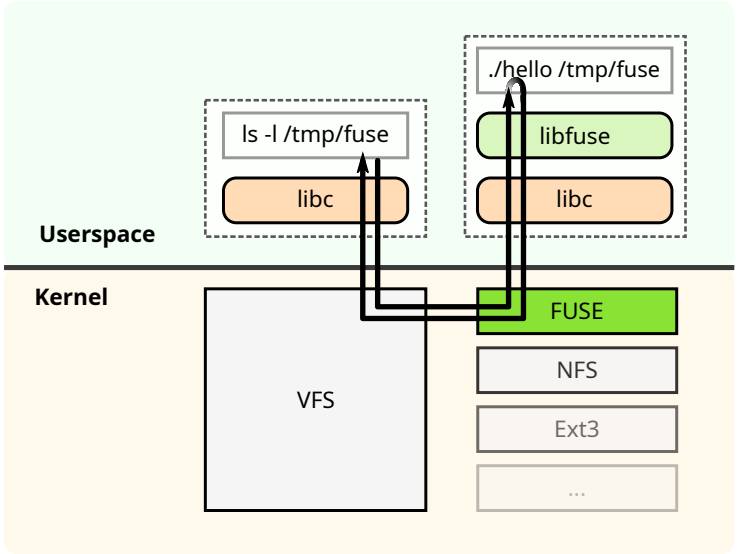
- Définition → Virtual File System (VFS)
  - Service du noyau → interface applications ↔ périphériques
  - Bibliothèque standard → API à l’échelle 1
- Objectifs
  - Accès transparent pour les applications
  - Contrôle d’accès uniforme → masque des permissions
  - Schéma de nommage cohérent entre serveurs et clients
  - Performances d’accès uniformes

Définition VFS noyau Linux



Définition VFS espace utilisateur → FUSE

- Potabilité
  - Entre noyaux : Linux/MacOS/*BSD
  - API : langages et contrôle d'accès
  - Métadonnées système uniquement
- Objectifs
  - Performances élevées
  - Développements et évolutions rapides



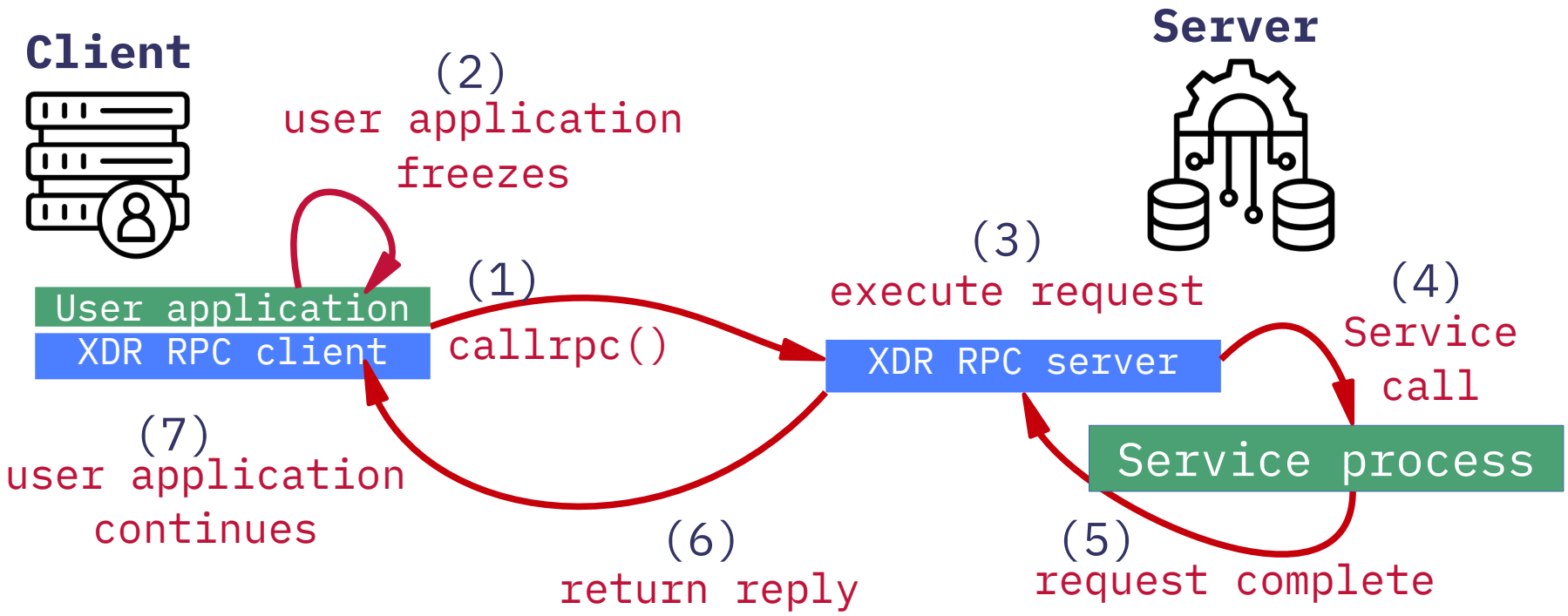
Source Wikipedia

Appels de procédures à distance

Remote procedure calls (RPCs) are a fundamental building block for constructing distributed systems. By abstracting the complexities of network communication, RPC enables developers to concentrate on their application logic rather than on the intricacies of interprocess or intermachine messaging.

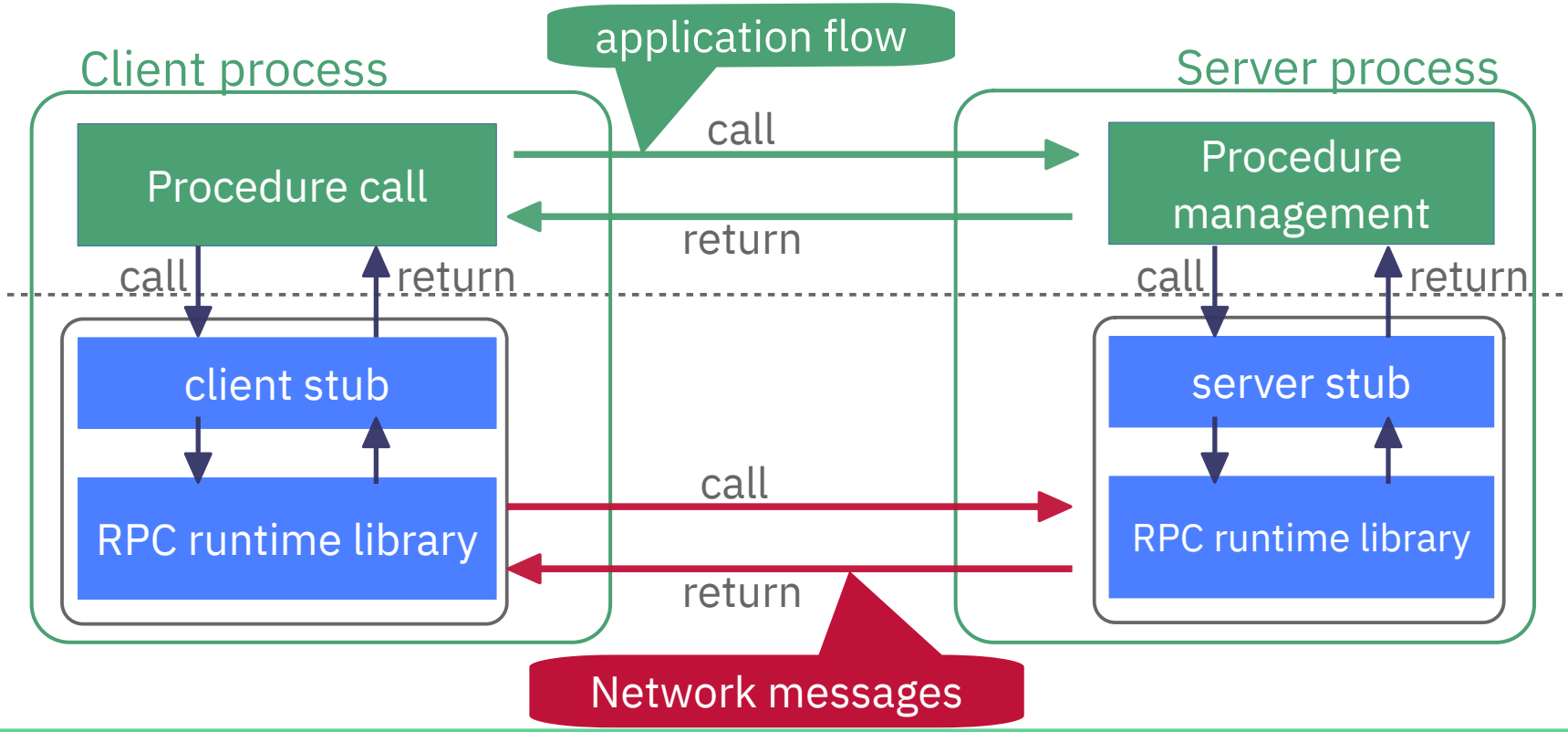
Remote Procedure Call (RPC) 1/2

Les étapes d'un appel de procédure



Remote Procedure Call (RPC) 2/2

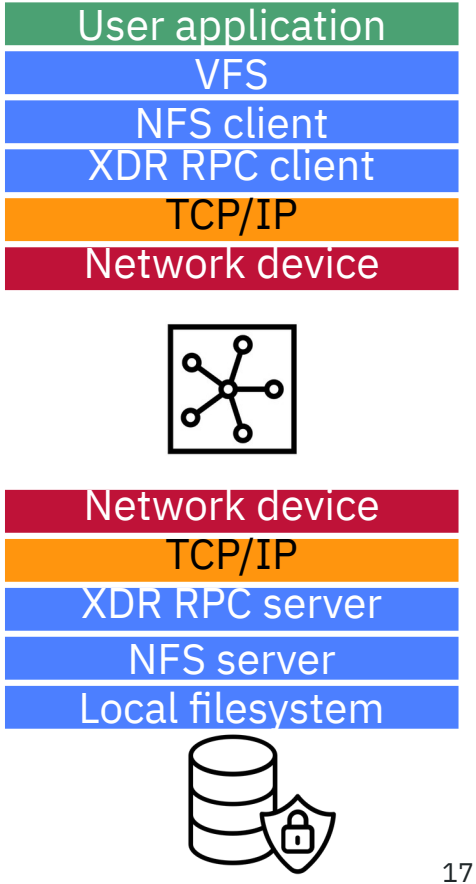
Modélisation des flux



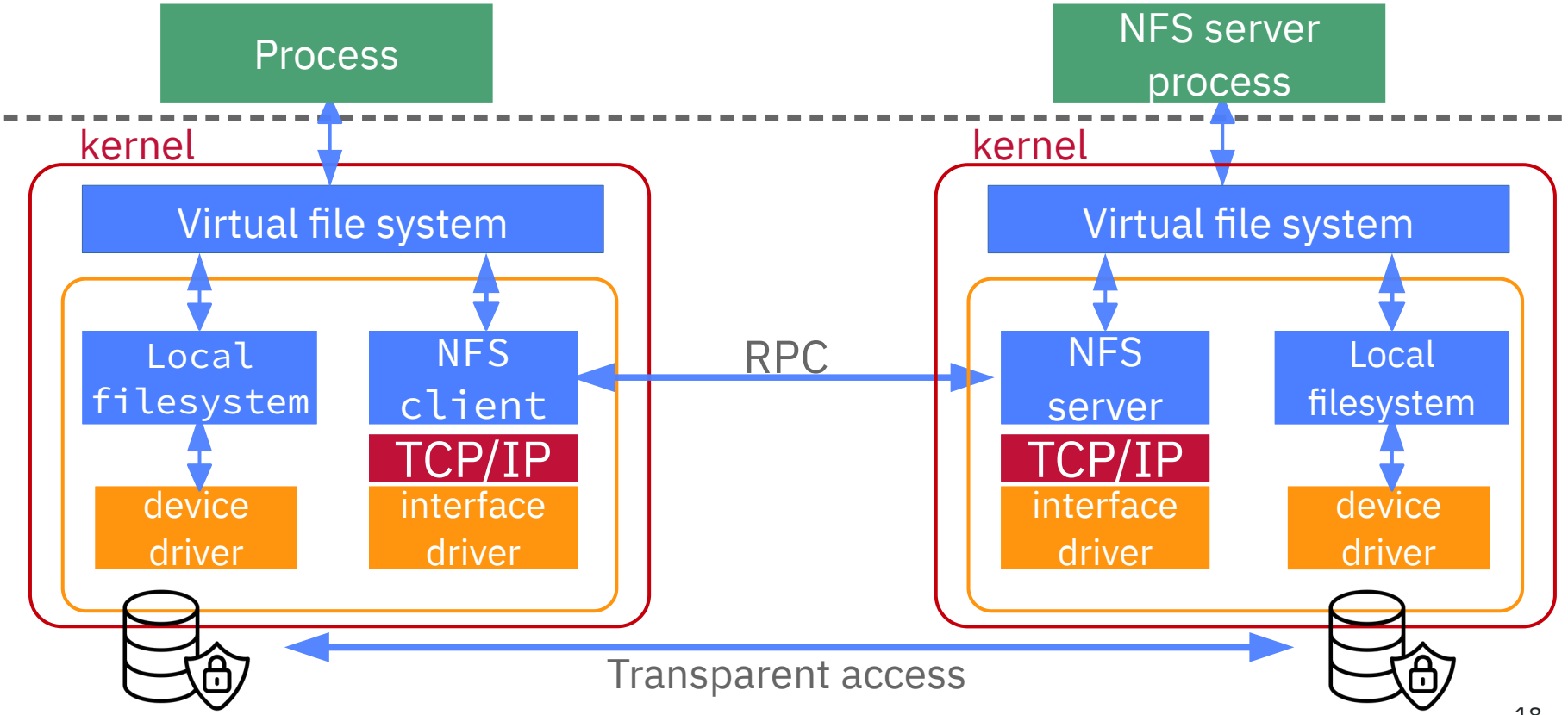
Système de fichiers réseau NFS

Network File System → NFS

- NFSv2 1983
  - Protocole UDP et réseaux locaux
  - Performances médiocres en écriture
- NFSv3 1995
  - Exportation de systèmes de fichiers POSIX 64 bits
  - Protocoles UDP et TCP toujours avec multiplexage de ports
  - Performances améliorées en écriture
- NFSv4.2 2016
  - Réduction des temps de latence
  - Communications sur un port unique tcp/2049 → filtrage
  - Appels de procédures groupés → compound RPC
  - Chiffrements des flux

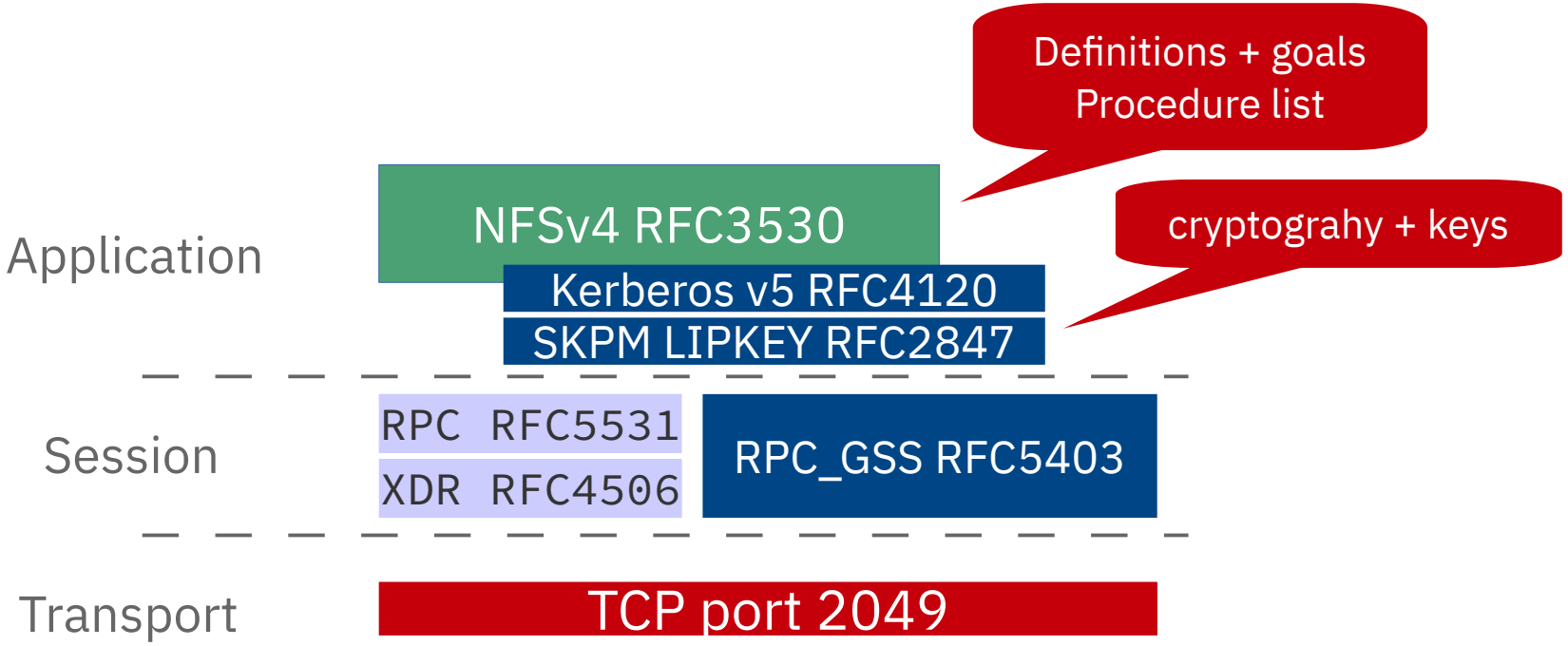


Network File System → NFS



Network File System → NFS

Pile des protocoles de chiffrement de bout en bout



Network File System → NFS

Fonctions principales

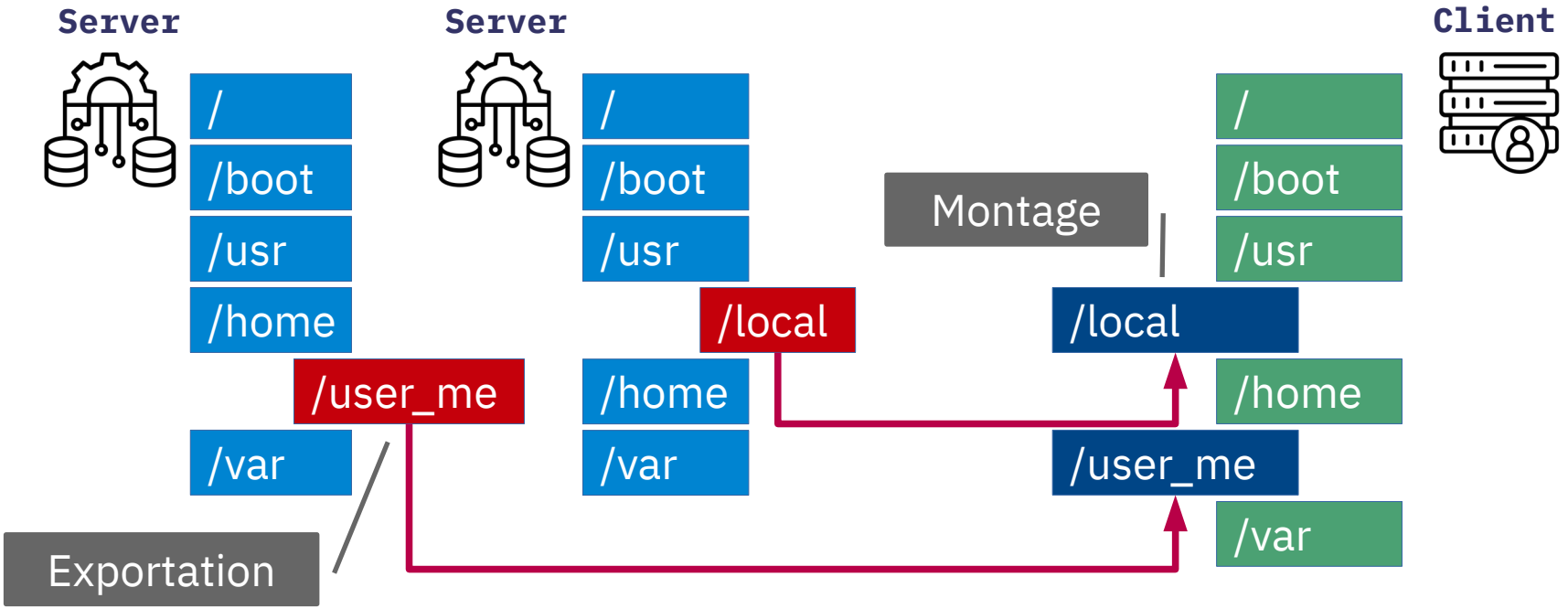
- Système de fichiers distribué
  - Accès et Nommage identiques entre serveurs et clients
- Modèle client/serveur
  - Serveur → répertoires locaux accessibles aux clients
  - Clients → montage des répertoires distants
- Hiérarchique par nature → chaînes de répertoires et fichiers

Usages

- Partage de répertoires : utilisateurs, données et applications qui sont exécutées localement
- Clouds publics et stockage hybride
  - GCP NetApp Volumes → support NFSv4.2
  - AWS Elastic File System (EFS) → support NFSv4.1
  - Azure NetApp Files → support NFSv4.1

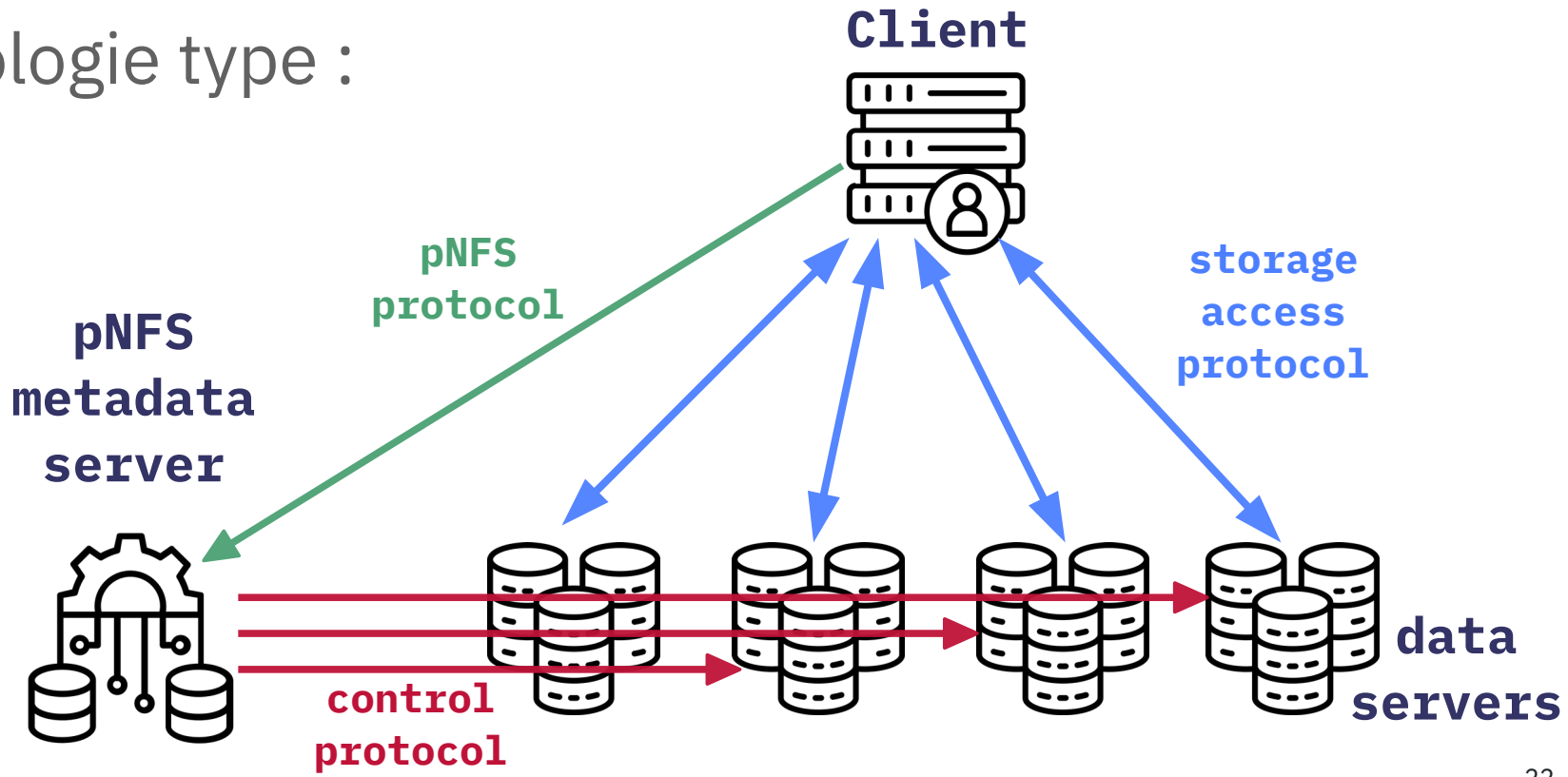
Network File System → NFS

Nommage et arborescence Unix :



Parallel Network File System → pNFS

Topologie type :



Parallel Network File System → pNFS

- Transaction type *parallel* NFS
  - Client → demande la lecture ou l'écriture d'un fichier
  - Serveur pNFS → autorise l'accès au fichier
  - Serveur pNFS → envoie la pagination (*stripe map*) du fichier au client
  - Client → lit ou écrit directement sur tous les serveurs
- Performances nettement améliorées
  - Plus de relation point-à-point avec le serveur
  - Amélioration des accès aux fichiers de grande taille
  - Répartition de charge entre clients et serveurs
- Espace de nommage unique préservé

Système de fichiers réseau SMB

Server Message Block → SMB

- SMB 3.0
  - Windows Server 2012
  - Optimisé pour applications serveur
- SMB 3.1.1
  - Windows Server 2016/2019/2022
  - Chiffrement AES-128/AES-256 (GCM, CCM, GMAC)
  - Négociation de dialecte sécurisée
- Fonctions SMB Windows Server 2025
  - Signature SMB activée par défaut
  - Chiffrement SMB forcé par défaut
  - SMB over QUIC

Server Message Block

Pile de protocoles

	Après Windows 2000 (avant patchs récents)	Après 2024 (actuel)
Version de protocole	SMB 2.x / 3.x	SMB 3.1.1 (fonctionnalités avancées)
Session	Raw access	Raw access / Audits améliorés / Multichannel
Transport	TCP 445	TCP 445 + Ports alternatifs + QUIC (UDP 443)
Sécurité	Signature, début du chiffrement (SMB3)	AES-GCM/CCM / signature forte / audit QUIC
Parefeu	Règles autorisant TCP 445 / 137-139 si SMB1 autorisé	Plus de 137-139, stricte, liste de ports définis

Usages du chiffrement

Usages du chiffrement

Type de chiffrement	Objectif	Systèmes de fichiers NFS et/ou SMB	Exemples de mise en œuvre
Données en transit	Protéger les échanges réseau contre l'interception	NFSv4.2 + Kerberos krb5p + TLS, SMB 3.x	SMB 3.1.1 (AES-GCM/CCM), NFSv4.2 avec Kerberos krb5p
Données au repos	Sécuriser les données stockées	NFS & SMB sur solutions modernes (cloud, appliances)	Azure Files, NetApp ONTAP, Windows BitLocker
Bout en bout du serveur au client	Assurer la confidentialité et l'intégrité de bout à bout	Depuis SMB 3.1.1 NFS v4.2 avec TLS	SMB 3.1.1 natif + négociation automatique d'AES, NFSv4.2 + RPC-with-TLS

Stockage en mode Objet

Stockage en mode Objet → principes

- Communications directes entre application et stockage
  - Trouver/Chercher des données à partir d'expressions rationnelles
  - Stockage cloud = base de données
- Distinction données - métadonnées
  - Requêtes complexes → Big Data
  - Exemple : recherche de données similaires à l'aide de la classification des métadonnées

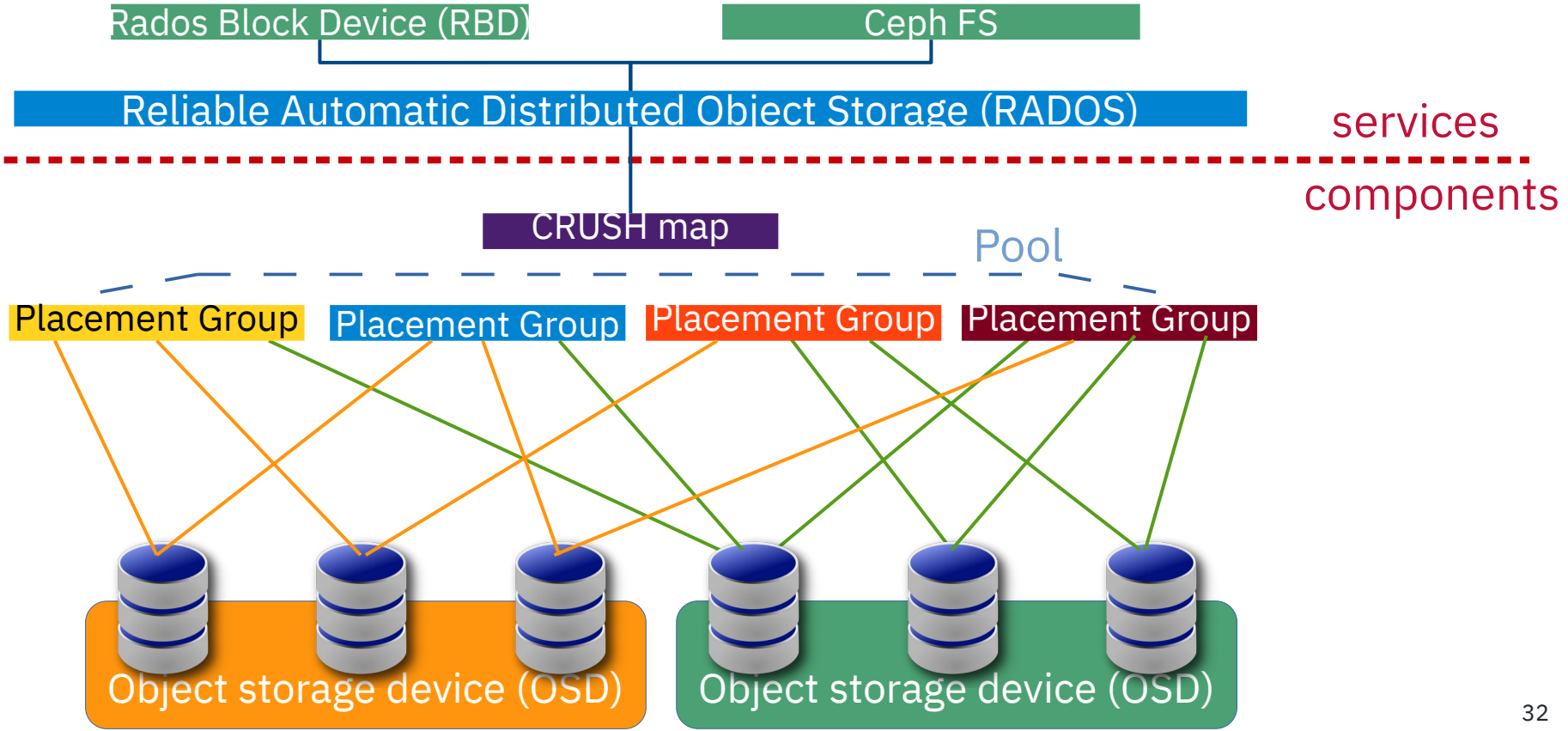
Metadata

Data

Stockage en mode Objet → accès aux objets

- Un serveur stocke un objet sur un seul nœud
  - Algorithmes de sélection basés sur la topologie
- Politique de stockage
  - Algorithmes basés sur l'occupation des nœuds, les performances et les métadonnées système
- Schémas de nommage cohérent
  - Accès global uniforme
- Réplication
  - Entre nœuds et/ou sites en fonction des accès

Stockage en mode Objet → Ceph



Stockage en mode Objet → Ceph

- Object Storage Devices (OSDs)
  - Volumes de stockage → DAS / SAN / NAS
  - Nombre d'OSDs → réplication + tolérance aux pannes
- Pools
  - Regroupement de Placement Groups
  - Stratégie de performance → tiering
- CRUSH maps
  - Cartes de distribution des objets vers les OSDs
  - Un jeu de cartes par Pool
- Service RADOS
  - Transformation → données/objets
  - Stockage partagé performant
- Service RDB
  - Périphérique de type bloc → découpage en stripes
  - Clusters de stockage des images de conteneurs ou de machines virtuelles (Incus/Proxmox)

Pour conclure

On reprend...

Systèmes de fichiers réseau et protocoles (NFS, SMB)

- Partage de données à grande échelle avec des clients hétérogènes
  - Solutions NAS populaires
  - Réduction du nombre de copies et sauvegardes faciles
- Défis de performances
  - Sensibilité réseau et mobilité limitée
  - Enjeux spécifiques de sécurité et d'accès côté client
- Topologies associant backend (SAN/VFS noyau) et frontend (NAS)
  - Architecture client/serveur avec montage distant des répertoires
  - Accès unifiés via VFS (kernel ou FUSE) pour obtenir des performances uniformes
- Protocoles
  - NFSv4.2 pour Unix/Linux
  - SMB3.1.1 pour Windows
  - Évolutions orientées sécurité → chiffrement, authentification forte
  - Évolutions orientées performances → parallélisme pour pNFS et RDMA + multicanal pour SMB

Stockage objet et enjeux de sécurité

- Stockage objet (Ceph)
  - Séparation entre données et métadonnées
  - Indexation/Recherche avancée → gestion de gros volumes et usages Big Data ou cloud
- Accès direct application-stockage
  - Cohérence de nommage
  - Réplication entre sites et le placement intelligent (CRUSH dans Ceph)
  - Optimisation de l'efficacité, de la résilience et de l'intégrité des données
- Sécurité des systèmes de fichiers
  - Chiffrement en transit → NFSv4.2+Kerberos/TLS et SMB 3.x AES-GCM/CCM)
  - Protection au repos → solutions cloud, BitLocker et confidentialité de bout en bout
- Intégration dans le cloud
  - Flexibilité accrue et des stratégies d'accès
  - Sauvegarde automatisées
  - Environnements distribués.