Sécurité des systèmes d'exploitation

Sécurité du stockage

Plan

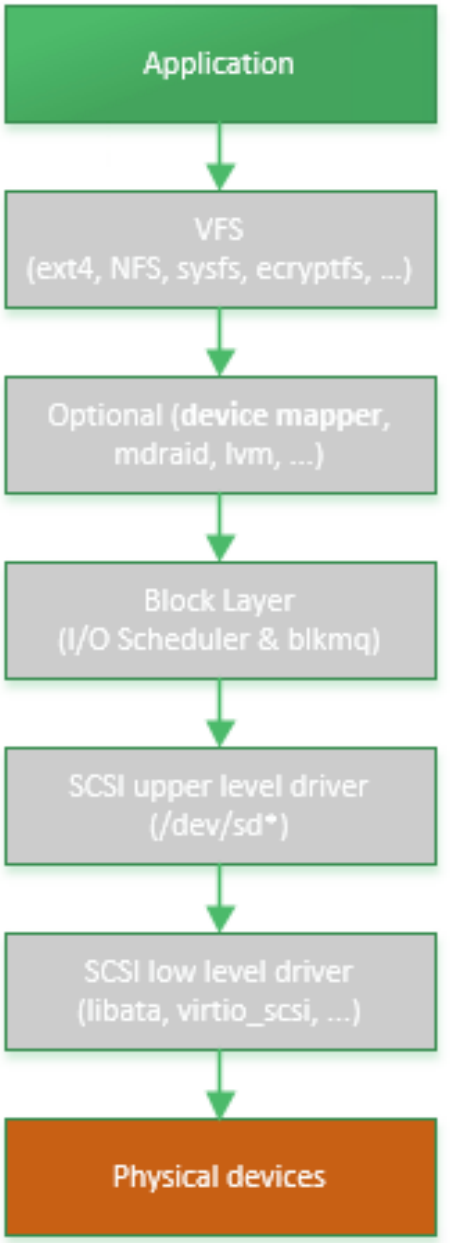
- Introduction
- Chiffrement
- Contrôle d'intégrité
- Disponibilité

Introduction

- Le contrôle d'accès (cf. séance précédente) contribue à la sécurité des données stockées
- Modèle de contrôle d'accès remis en cause si le stockage est accédé « à froid » (*data at rest*)
  - Limite de l'utilisation d'UID ou de SID
    - Duplication ou usurpation possible
    - Utilisation d'un programme ne tenant pas compte des informations de contrôle d'accès

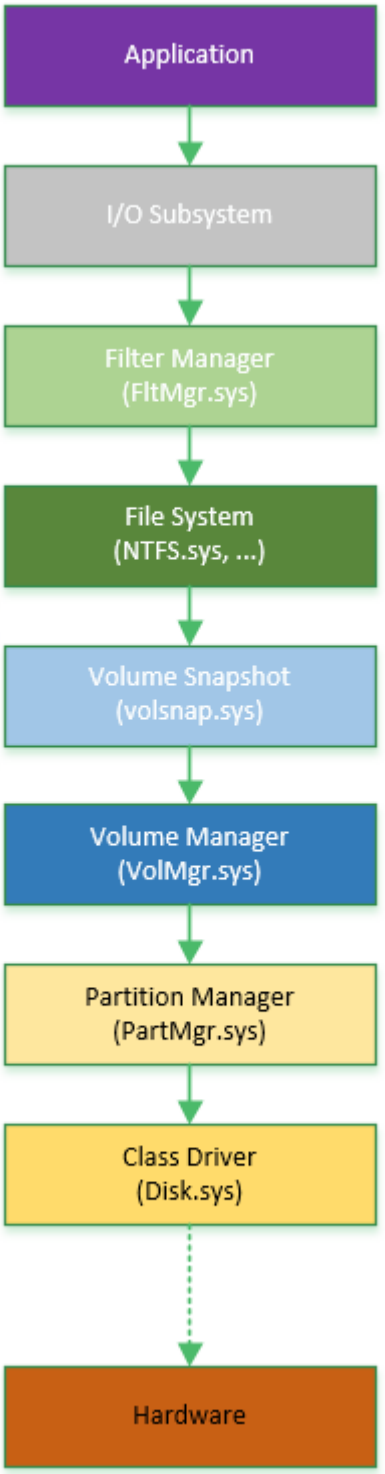
Introduction

- Le stockage sous Linux (simplifié)
  - Version complète
- Device Mapper
  - Pilote noyau qui fournit un *framework* pour la gestion de volume
  - Méthode générique pour créer des *mapped devices*, qui peuvent être utilisés comme des volumes logiques



Introduction

- Le stockage sous Windows (simplifié)
  - Explication détaillée
  - Les requêtes sont encapsulées dans des IRP (*I/O request packets*) avant d'être envoyées aux différents pilotes de la pile de stockage
  - Le *Filter Manager* permet de charger des pilotes spéciaux appelés mini-filtres



Chiffrement

- Assurer la confidentialité des données
- Plusieurs niveaux :
  - Chiffrement de fichier
    - Gestion des clés par l'utilisateur
    - Chaque chiffrement nécessite une action de l'utilisateur
    - Adapté au chiffrement de documents (envoi de pièces jointes)
  - Chiffrement au niveau du système de fichiers
    - Utilisation de méta-données pour stocker des éléments cryptographiques
    - Partage fin entre utilisateurs
    - Gestion des clés et des primitives cryptographiques « transparente »

Chiffrement

- Plusieurs niveaux (suite) :
  - Chiffrement de volume/partition
    - Chiffrement transparent et complet de la partition
    - Protection en tout ou rien
      - Travaille au niveau bloc : pas de compréhension des données stockés
      - Efficace uniquement quand la machine est éteinte
    - Gestion des utilisateurs limitée ou complexe
      - Amène à réserver une machine à un seul utilisateur
  - Chiffrement matériel de périphérique
    - Dépend du contrôleur (par ex. support des normes IEEE 1667-2009 ou TCG OPAL)
    - Peu de garanties sur la gestion de clé
    - Produits parfois (souvent ?) peu sécurisés

Chiffrement

- Utilisation d'algorithmes de chiffrement symétrique pour le chiffrement des données
  - Critère performance
- Modes
  - CBC avec un IV (*Initialization vector*) généralement dérivé du n° de secteur
  - XTS (XEX with tweak and ciphertext stealing)
    - Normalisé par IEEE (P1619/D16) en 2007, repris par le NIST (SP 800-38E) en 2010

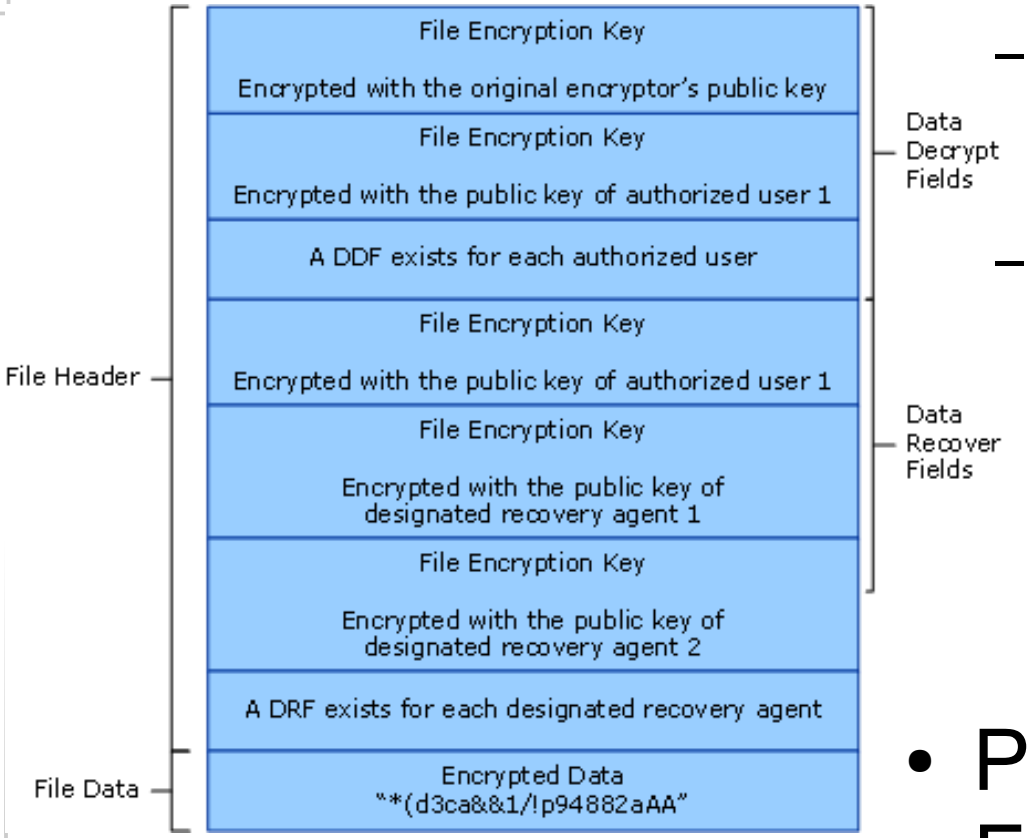
Chiffrement

- Chiffrement de système fichiers : EFS (Encrypted File System)
- Introduit dans Windows 2000, intégré à NTFS
  - Pris en compte pour des partitions FAT depuis Windows 10 1709
- Chiffrement des fichiers avec l'algorithme AES depuis Windows XP SP1 (3DES et DESX auparavant)
- Gestion des accès utilisateurs
- Gestion des recouvrements

Chiffrement

- Le système génère une clé symétrique, appelée FEK (*File Encryption Key*), différente pour chaque fichier
  - Pour accéder au contenu d'un fichier, EFS déchiffre la FEK à l'aide de la clé privée de l'utilisateur puis utilise la FEK pour déchiffrer le fichier
  - Les FEK sont protégées par une paire de clé asymétrique propre à chaque utilisateur
- Un fichier chiffré se compose d'un en-tête (métadonnées EFS) et des données chiffrées
  - Les FEK chiffrées sont stockées dans l'en-tête de fichier

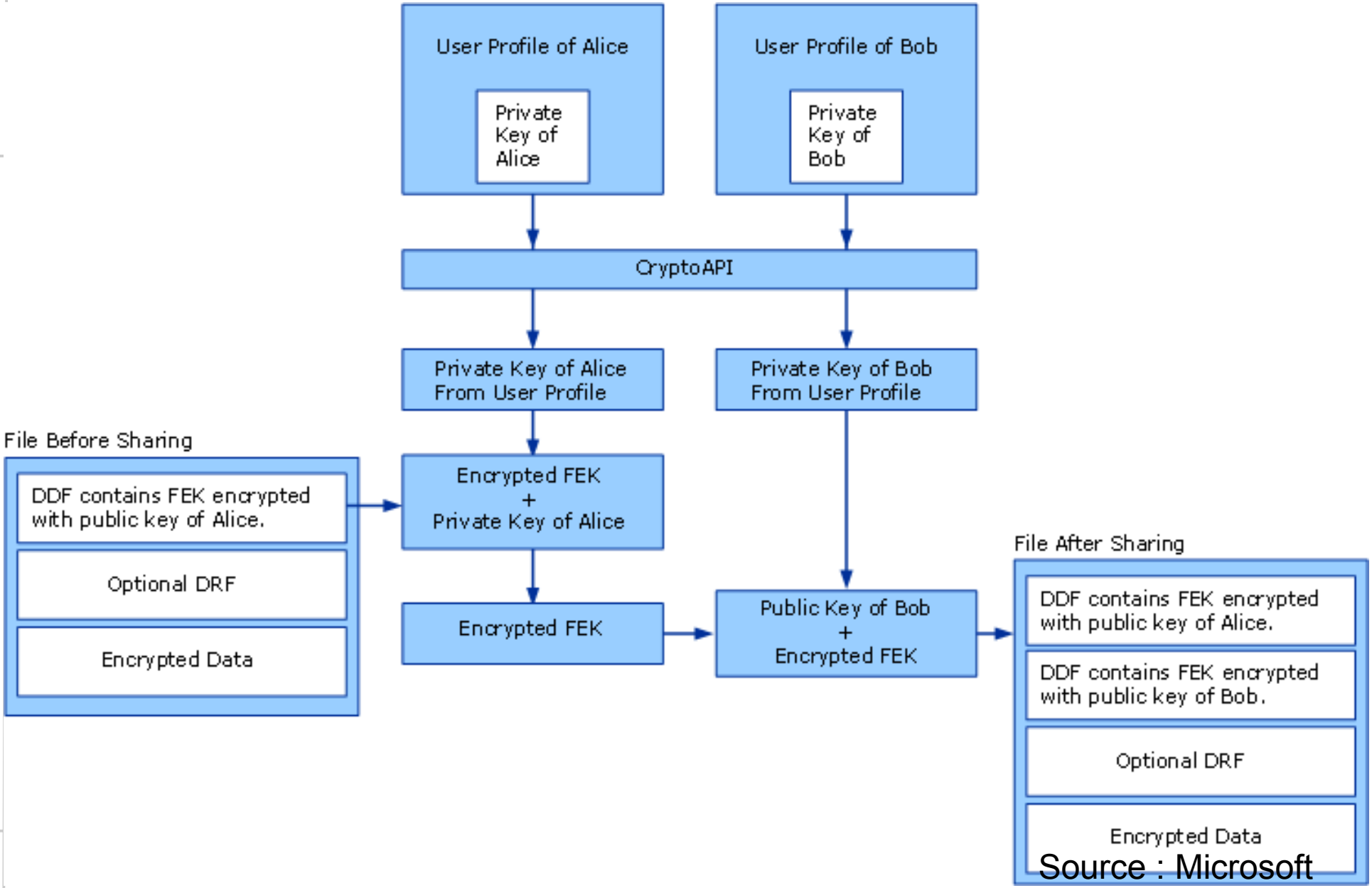
Chiffrement



Source : Microsoft

- L'en-tête contient 2 types d'entrée
  - Chiffrement/déchiffrement
    - Une entrée par utilisateur
  - Recouvrement
    - Implique la définition d'un ou plusieurs agents de recouvrement dans la stratégie de sécurité de la machine
- Pour chaque entrée, la FEK est chiffrée avec la clé publique (utilisateur ou agent de recouvrement)

Chiffrement

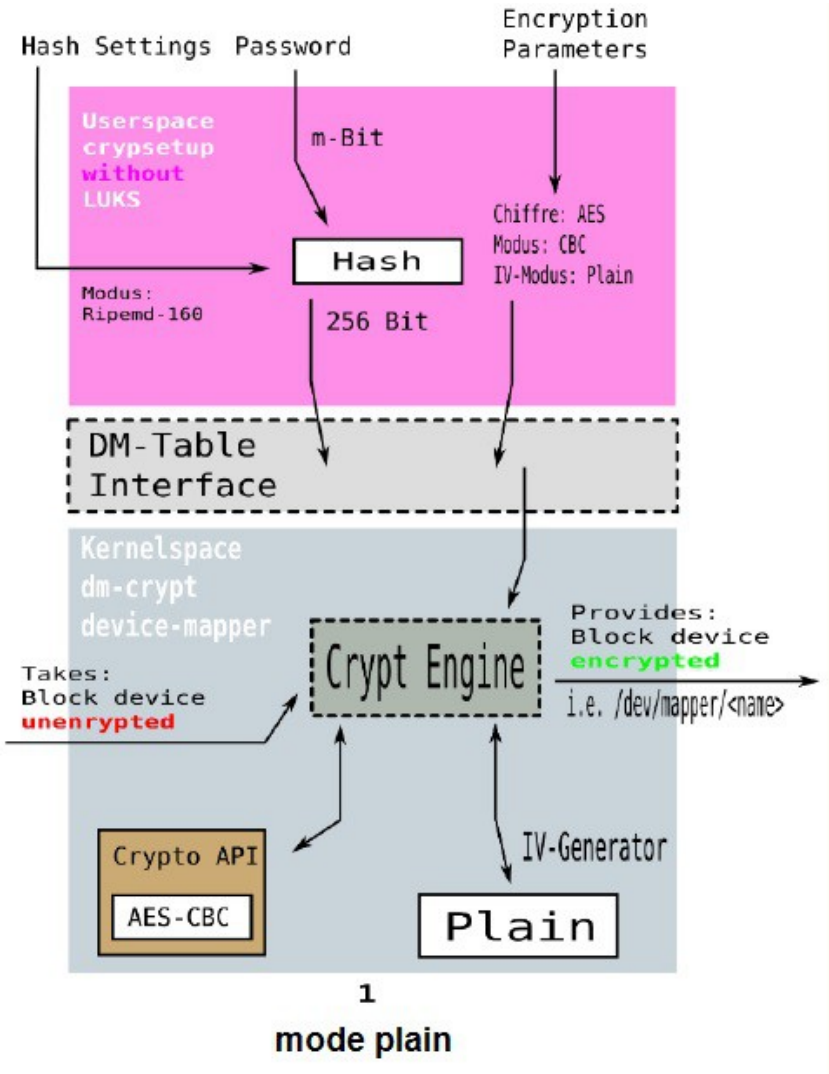


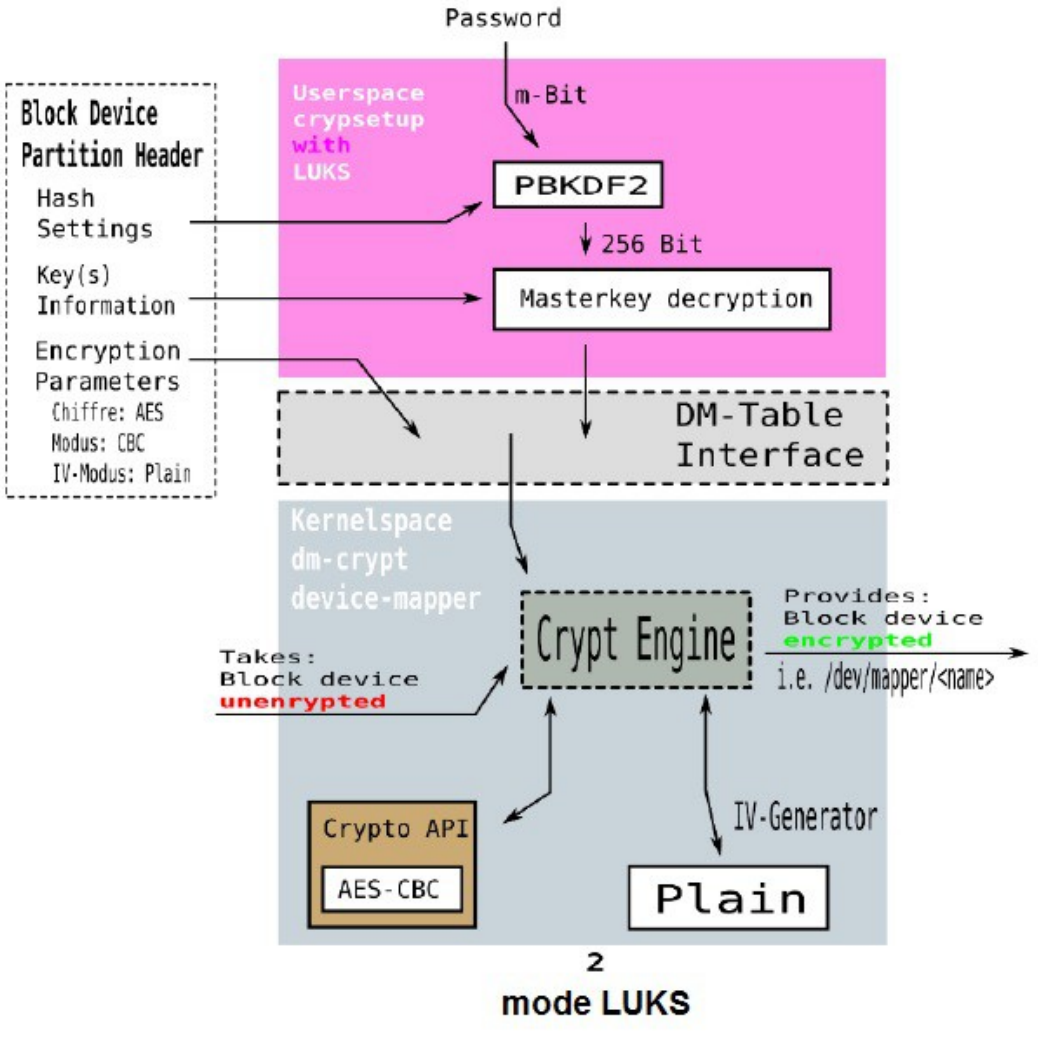
Source : Microsoft

Chiffrement

- dm-crypt
  - Permet le chiffrement d'un périphérique en mode bloc géré par le *device mapper*
    - Partition (i.e. /dev/sda2)
    - Fichier contenant un système de fichiers
  - Intégré au noyau Linux depuis la version 2.6
    - grep DM_CRYPT /boot/config-`uname -r`
    - Utilise l'API Crypto du noyau (voir /proc/crypto)
  - 2 modes de chiffrement
    - Mode « plain » : la clé maître est dérivée du mot de passe (*passphrase*)
    - Mode « LUKS » : jusqu 'à 8 mots de passe peuvent déchiffrer la clé maître

Chiffrement





Source : Amossys & ANSSI

Chiffrement

- LUKS supporte plusieurs algorithmes et modes de chiffrement
- Algorithmes : AES, SERPENT, Twofish, ...
- Modes principaux
  - ECB
  - CBC
    - Gestion des IV
      - Plain ou plain64 : numéro de secteur
      - ESSIV (*encrypted sector-salt initialization vector*) :
        - IV(secteur) = E_{sel}(n°secteur) avec sel = H(K)
          - La fonction de hachage est précisée dans la dénomination du mode (par ex. cbc-essiv:sha256)
  - XTS utilise plain ou plain64 pour ses « IV »

Chiffrement

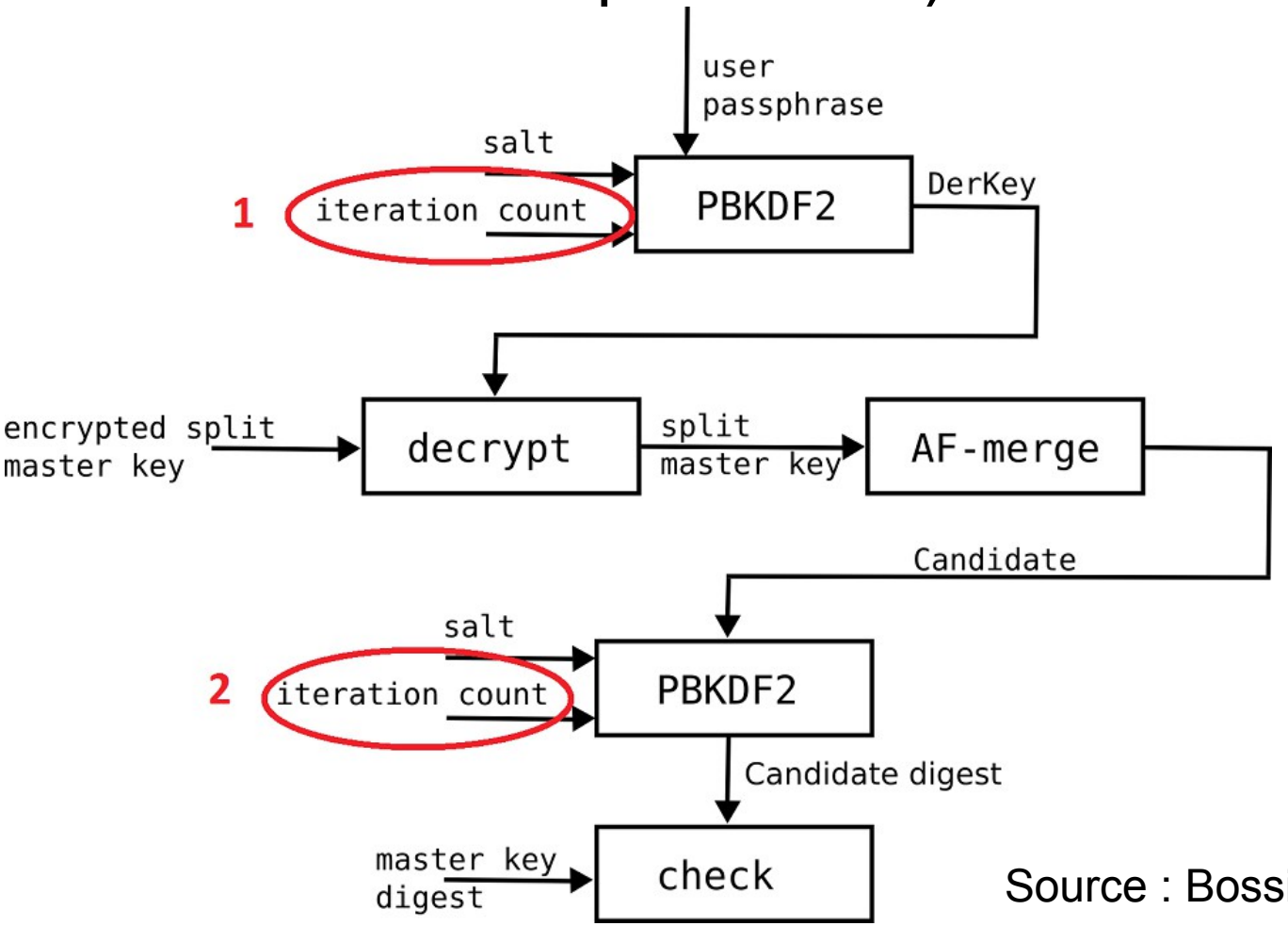
- Un volume chiffré LUKS (Linux Unified Key Setup) est constitué de
  - 1 en-tête de volume contenant notamment les algorithmes cryptographiques utilisés, le condensat PBKDF2 de clé maître (et les paramètres sel et nombre d'itérations)
  - 8 emplacement de clé (*key slot*)
  - Données chiffrées

Chiffrement

- Plusieurs clés
  - *Master Key* (MK) : utilisée pour chiffrer les données
  - *User Key (UK)* : utilisée pour déchiffrer la SMK correspondante
    - UK = PBKDF2(mdp_utilisateur, sel, nb_itération, taille_clé)
    - Le sel et le nombre d'itération sont propres à chaque UK, ils sont différents de ceux de l'en-tête LUKS
  - *Split Master Key* (SMK) : stockée après l'en-tête LUKS (dans un des 8 emplacements)
    - La MK est obtenu à partir d'une SMK
      - La MK est vérifiée à partir d'un hash PBKDF2 de référence stocké dans l'en-tête LUKS

Chiffrement

- Processus d'obtention de la MK
  - Fait emplacement par emplacement (pas de lien explicite utilisateur/emplacement)



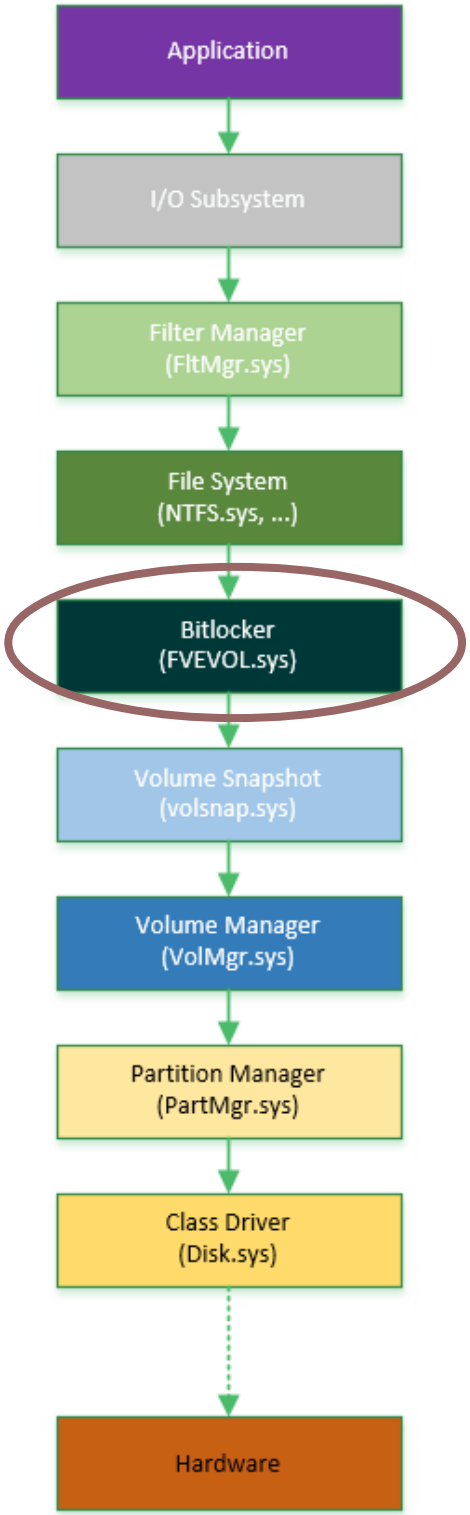
Source : Bossi et al.

Chiffrement

- Chiffrement de volume/partition : Bitlocker
  - Windows Vista & 7 : disponible uniquement dans les versions Enterprise et Ultimate ;
  - depuis Windows 8 : disponible à partir de la version Professional ;
  - Windows Server >= 2008
- Depuis Windows 7, chiffrement des supports amovibles : « BitLocker-To-Go »
- Chiffrement d'un volume existant sans perte de données
- Mécanisme de recouvrement

Chiffrement

- Se présente sous forme d'un pilote inséré dans la pile de stockage
  - FVE (Full Volume Encryption)
  - en principe indépendant du système de fichiers
    - Support de NTFS (depuis Windows Vista), de FAT, FAT32 et exFAT (depuis Windows 7) et ReFS (depuis Windows Server 2012)
- Chiffrement AES (128 ou 256 bits)
  - Mode CBC, avec ou sans *Elephant diffuser*
  - Mode XTS depuis Windows 10 1511



Chiffrement

- Clés cryptographiques
  - VMK (*Volume Master Key*) : clé de 256 bits servant à protéger la FVEK
  - FVEK (*Full Volume Encryption Key*) : clé utilisée pour le chiffrement du volume
    - Tailles : 128, 256 ou 512 bits

Chiffrement

- Protection de la clé maître par un « protecteur »
  - TPM, TPM + code PIN, TPM + code PIN + clé de démarrage, TPM + clé de démarrage, clé de démarrage, carte à puce, mot de passe(pas pour un volume système), clé ou mot de passe de récupération
    - Lors de l'utilisation du TPM, le descellement de la clé se fait sur la base des mesures effectuées

Scenario	VMK blob	Algorithm used to encrypt VMK
Default (TPM-only)	SRK(VMK)	RSA
TPM and PIN	(SRK+SHA256(PIN))(VMK)	RSA
TPM and PIN and USB	XOR((SRK+SHA256(PIN)),SK)(VMK)	AES
TPM and USB (TPM+SK)	XOR(SRK(IK),SK)(VMK)	AES
Startup key (SK)	SK(VMK)	AES
Recovery key (RK)	RK(VMK)	AES
Recovery password[1]	(Chained-hashing(Password),Salt)(VMK)	AES
Data volume password1	(Chained-hashing(Password),Salt)(VMK)	AES
Public-key-based	IK(VMK) where IK is RSA or ECC-encrypted with the PK	AES
Clear key (CC)	CC(VMK)	AES
Auto-unlock key (AUK)	OS_VMK(IK(VMK)) or user_PK (form user cert store)	AES

Source : Microsoft

Chiffrement

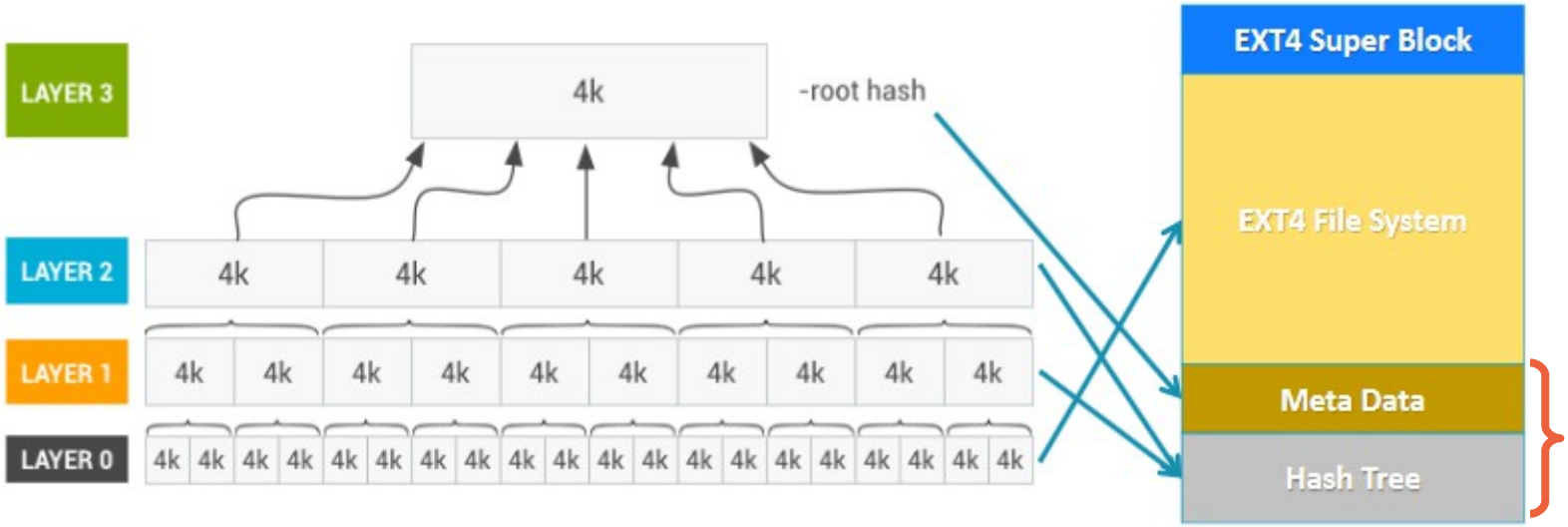
- Attaques sur les solutions de chiffrement de volume
  - Utilisation de bootkit ou de rootkit
    - « Evil Maid » attack
  - Bruteforce sur le mot de passe ou la clé de chiffrement
  - Attaques DMA
  - Cold boot attack
  - Spécifique Windows : fichier hyberfil.sys

Contrôle d'intégrité

- Assurer la confiance envers les données
- Plusieurs niveaux :
  - Fichier
    - un condensat (cryptographique) est calculé périodiquement pour un fichier donné et est comparé avec une base de référence
      - Approche suivie par des logiciels du type AIDE, OSSEC, Tripwire, ...
  - Système de fichiers
    - Mis en place pour un objectif de contrôle de la corruption via des sommes de contrôles
      - Btrfs
  - Volume/partition

Contrôle d'intégrité

- Dm-verity fournit un contrôle d'intégrité transparent d'un périphérique bloc
- Utilisation d'un arbre de Merkle
  - Un bloc de hash de 4ko de la couche 1 stocke les hash (SHA256) de 128 bloc de données



Au sein de la même partition ou dans une autre

Source : ARM

Contrôle d'intégrité

- La sécurité du hash racine est primordiale
- Inconvénient lié à la lecture-seule
  - Nécessite de remonter la partition sous-jacente en RW, faire la modification, calculer le nouvel arbre puis remonter le tout avec dm-verity
  - Noyau >= 4.12 : dm-integrity (peut être combiné avec dm-crypt)

Disponibilité

- 2 approches
  - Sauvegarde/archivage
  - Redondance (« RAID » logiciel), développer de la résilience face à une panne matérielle
    - Systèmes à base de noyau Linux
      - LVM supporte les niveaux RAID 1, 4 ,5, 6 et 10
        - RAID0 est également supporté mais n'offre aucune redondance
      - *device mapper* a une cible *mirror* (même principe que RAID1)
    - Systèmes Windows
      - Mise en miroir de volume, utilisation de mécanismes de parité, y compris en mode RAID5
        - Fonctions disponibles sur les versions >= Pro et Server
      - *Storage Spaces* ajoute un mode miroir à 3 disques (2 copies)

Pour aller plus loin

- What users should know about Full Disk Encryption based on LUKS, Simone Bossi and Andrea Visconti, 2016
- Evaluation of Some Blockcipher Modes of Operation, Phillip Rogaway, 2011
- BitLocker, Aurélien Bordes, SSTIC 2011
- An in-depth analysis of the cold boot attack, Carbone et al., 2011

Questions ?