Setup CA SSH pour Make IT Simple

Guide complet pour mettre en place une autorité de certification SSH dans un contexte MSP, avec support multi-Yubikey et intégration dans l'infrastructure MIS.

Architecture allégée : la clé privée de la CA est stockée sur une Yubikey 5 NFC dédiée (slot PIV), pas sur disque. Un backup d'urgence (fichier classique chiffré) est conservé dans Bitwarden pour les cas de perte matérielle.

Compatibilité Windows

Réponse courte : oui, mais avec une distinction importante entre les rôles.

Rôle	Système	Notes
Poste de signature (utilisation Yubikey CA)	Windows / Linux / macOS	OpenSSH + OpenSC ou ykcs11
Poste technicien (utilisation Yubikey perso)	Windows / Linux / macOS	OpenSSH inclus dans Windows 10/11 (1809+)
Serveurs clients (qui acceptent les certifs)	Linux principalement	Windows Server avec OpenSSH for Windows fonctionne aussi

Côté Windows pour les techniciens :

- OpenSSH client/server est intégré nativement à Windows 10 (build 1809+) et Windows 11
- Vérification : Get-WindowsCapability -Online | ? Name -like 'OpenSSH*'
- Installation si absent : `Add-WindowsCapability -Online -Name OpenSSH.Client~~~~0.0.1.0`
- Pour les versions récentes d'OpenSSH (recommandé pour FIDO2) : `winget install Microsoft.OpenSSH.Beta`
- Le support FIDO2/Yubikey (`ed25519-sk`) fonctionne nativement
- L'utilisation des certificats SSH est transparente : il suffit de placer le `-cert.pub` à côté de la clé privée

Pour signer avec la Yubikey CA depuis Windows : Yubico fournit `ykcs11.dll` (inclus dans `yubico-piv-tool`) qui peut être utilisé comme provider PKCS#11 pour `ssh-keygen -D`. Marche aussi.

Notes Debian 13 (Trixie)

Cette documentation cible Debian 13 (codename **Trixie**), sortie le 9 août 2025. Quelques points importants pour notre cas d'usage SSH CA :

Versions embarquées

Composant	Bookworm (Debian 12)	Trixie (Debian 13)
OpenSSH	9.2p1	10.0p1
systemd	252	257
Kernel	6.1 LTS	6.12 LTS
Python	3.11	3.13

Changements pertinents pour la CA SSH

OpenSSH 10.0 : meilleurs algos par défaut, mais surtout :

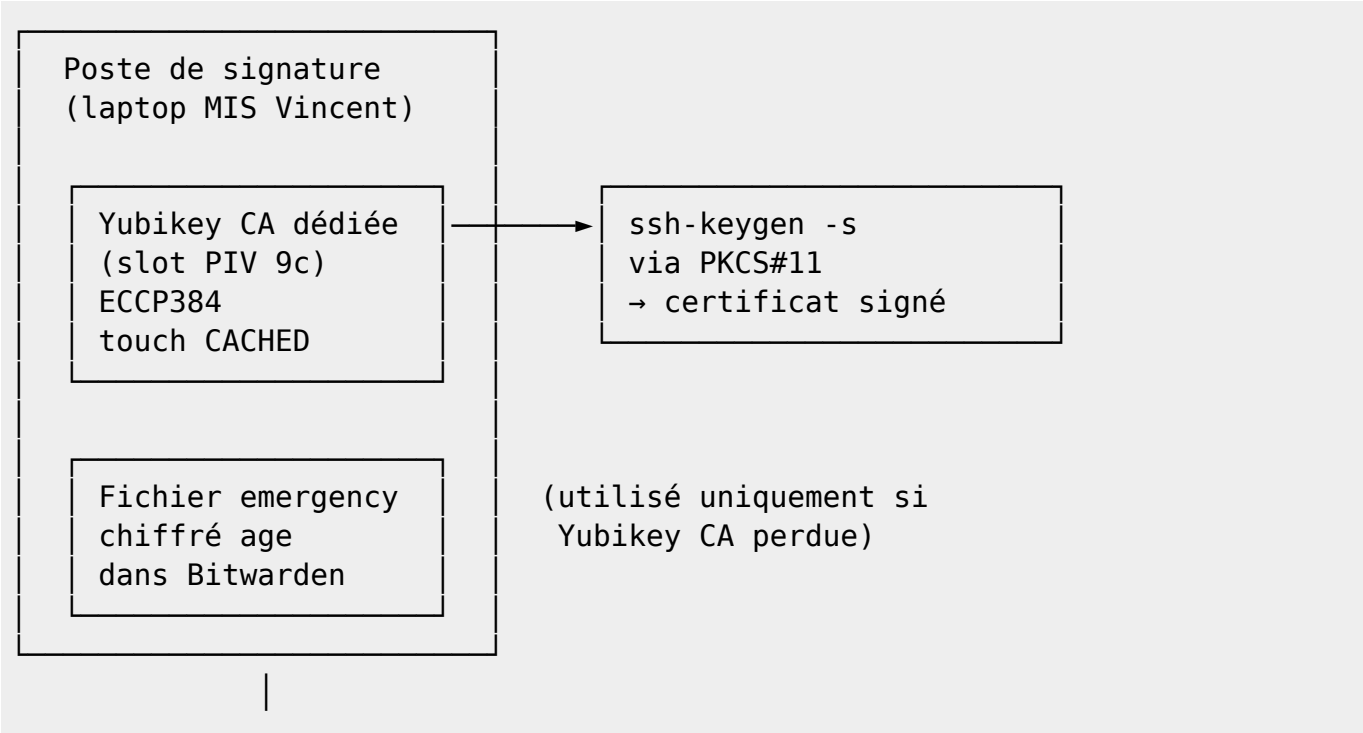
- Les **clés DSA ne sont plus supportées du tout**, même avec les options de compat (`HostKeyAlgorithms`, `PubkeyAcceptedAlgorithms`). Aucun impact pour nous (on n'utilise que Ed25519/ECCP384), mais à savoir si tu te connectes à de très vieux équipements.
- Le support FIDO2 (libfido2) est plus mature qu'en Bookworm.
- Les algorithmes post-quantum (mlkem768x25519-sha256) sont disponibles par défaut pour le key exchange.

Support à long terme

- Full support jusqu'à **août 2028**
- LTS jusqu'à **juin 2030**

C'est donc une base saine pour démarrer une infra MSP qui doit vivre 4-5 ans sans upgrade majeur.

Vue d'ensemble de l'architecture



```
              │ déploiement via Ansible
              ▼
┌──────────────────────────────────────┐
│  Serveurs clients                    │
│  /etc/ssh/mis-users-ca.pub           │ ← contient 2 lignes :
│  (200+ VMs)                          │   1. Yubikey CA pub
│                                      │   2. Emergency CA pub
│  /etc/ssh/mis-revoked-keys           │ ← KRL pour révocations
└──────────────────────────────────────┘
```

Le principe :

- La CA quotidienne vit sur Yubikey PIV → clé privée non-extractible, touch + PIN obligatoires
- La CA emergency est un fichier classique chiffré avec age, stocké dans Bitwarden
- Les **deux** clés publiques sont déployées sur les serveurs comme CAs valides
- En cas de perte de la Yubikey CA, on déchiffre l'emergency, on s'en sert pour signer en attendant la nouvelle Yubikey, puis on révoque (rolling rotation)

Phase 1 : Préparation du poste de signature

Étape 1.1 : Matériel requis

- **1x Yubikey 5 NFC dédiée à la CA** (~50 €). À **séparer** de tes Yubikeys SSH d'authentification quotidienne. Cette Yubikey reste rangée la plupart du temps, branchée uniquement pour signer.
- Ton laptop MIS comme poste de signature (Linux, macOS ou Windows)

Étape 1.2 : Installation des outils

Sur Debian / Ubuntu / WSL2 :

```
sudo apt update
sudo apt install -y \
    openssh-client \
    yubikey-manager \
    opensc \
    age
```

Sur macOS (Homebrew) :

```
brew install yubikey-manager opensc age openssh
```

Sur Windows :

```
# Yubikey Manager : https://www.yubico.com/support/download/yubikey-manager/
# Installer aussi yubico-piv-tool qui contient ykcs11.dll
# OpenSSH inclus avec Windows 10/11 (sinon : Add-WindowsCapability)
```

```
# age : winget install FiloSottile.age
```

Étape 1.3 : Localisation du provider PKCS#11

Cette information est cruciale pour les commandes de signature. Note le chemin selon ton OS :

OS	Chemin PKCS#11 (OpenSC)
Debian/Ubuntu (amd64)	`/usr/lib/x86_64-linux-gnu/opensc-pkcs11.so`
Debian/Ubuntu (arm64)	`/usr/lib/aarch64-linux-gnu/opensc-pkcs11.so`
macOS (Intel)	`/usr/local/lib/opensc-pkcs11.so`
macOS (Apple Silicon)	`/opt/homebrew/lib/opensc-pkcs11.so`
Windows	`C:\Program Files\OpenSC Project\OpenSC\pkcs11\opensc-pkcs11.dll`

Vérification rapide qu'il existe :

```
# Linux/macOS
ls -la $PKCS11_PATH
```

Pour la suite du document, on utilisera la variable $PKCS11 à adapter à ton chemin :

```
export PKCS11=/usr/lib/x86_64-linux-gnu/opensc-pkcs11.so
```

Étape 1.4 : Initialisation des PINs de la Yubikey CA

⚠ **Yubikey CA branchée**. Vérifie que c'est la bonne (pas une Yubikey SSH du quotidien) :

```
ykman info
# Doit afficher le serial number de la Yubikey CA
```

PIN PIV (8 caractères minimum, sera demandé à chaque session de signature) :

```
ykman piv access change-pin
# Default PIN: 123456
# New PIN: [choisir 8+ chars]
```

PUK (utilisé pour débloquer si trop d'échecs PIN, à conserver précieusement) :

```
ykman piv access change-puk
# Default PUK: 12345678
# New PUK: [générer 8 chars aléatoires]
```

Management Key (utilisée pour les opérations admin PIV, on la protège avec le PIN) :

```
ykman piv access change-management-key --algorithm AES256 --generate --
```

```
protect
# --protect = stocke la management key chiffrée par le PIN
```

Notes à conserver dans Bitwarden, entrée “MIS Yubikey CA” :

- Serial number de la Yubikey
- PIN PIV
- PUK
- (la management key est protégée par le PIN, pas besoin de la stocker à part)

Phase 2 : Génération des CAs

Étape 2.1 : CA principale sur Yubikey (users)

```
# Yubikey CA branchée
mkdir -p ~/mis-ssh-ca && cd ~/mis-ssh-ca
chmod 700 .

# Génération de la paire ECCP384 dans le slot 9c (Digital Signature)
ykman piv keys generate \
  --algorithm ECCP384 \
  --pin-policy ONCE \
  --touch-policy CACHED \
  9c \
  mis-users-ca-yubi-cert.pub
# → demande le PIN
# → demande le touch
```

Décortiquons les options :

Option	Valeur	Sens
`--algorithm`	ECCP384	Courbe elliptique NIST P-384 (compromis sécurité/perf)
`--pin-policy`	ONCE	PIN demandé 1x par session (après débranchement = re-demandé)
`--touch-policy`	CACHED	Touch valide 15s après un précédent touch
9c	slot	Slot “Digital Signature” - sémantique appropriée

Alternative plus stricte : `--touch-policy ALWAYS` exige un touch à **chaque** signature. Plus sûr mais pénible pour signer plusieurs certifs d'affilée (enrôlement de plusieurs Yubikeys d'un nouveau tech). CACHED est un bon compromis.

Étape 2.2 : Certificat self-signed PIV

PIV exige qu'un certificat X.509 soit présent dans le slot, même s'il ne sert à rien dans notre usage SSH :

```
ykman piv certificates generate \
```

```
  --subject "CN=MIS Users CA,O=Make IT Simple,C=BE" \
  --valid-days 3650 \
  9c \
  mis-users-ca-yubi-cert.pub
# → demande le PIN
```

Étape 2.3 : Export de la clé publique au format SSH

C'est cette clé publique qui sera déployée sur tous les serveurs comme **CA principale acceptée** :

```
ssh-keygen -D $PKCS11 -e > mis-users-ca-yubi.pub

# Inspection
cat mis-users-ca-yubi.pub
# Doit afficher : ecdsa-sha2-nistp384 AAAA...

# Renommer avec un commentaire explicite (facultatif)
sed -i 's|$| MIS Users CA - Yubikey|' mis-users-ca-yubi.pub
```

Étape 2.4 : Génération de la CA emergency (fichier classique)

⚠ **Idéalement, faire cette étape sur une machine offline ou un live USB Tails**. Au minimum, déconnecte le wifi pendant l'opération.

```
cd ~/mis-ssh-ca

# Génération d'une paire Ed25519 classique sans passphrase
# (le chiffrement vient d'age juste après)
ssh-keygen -t ed25519 -a 200 \
  -f mis-users-ca-emergency \
  -C "MIS Users CA - EMERGENCY USE ONLY" \
  -N ''

# Chiffrement avec age
age --passphrase \
  -o mis-users-ca-emergency.age \
  mis-users-ca-emergency
# → demande une passphrase TRÈS robuste (>20 chars, mémorisable type
Diceware)

# Effacement sécurisé du fichier en clair
shred -u mis-users-ca-emergency

# La clé publique, elle, reste en clair (pas un secret)
ls -la
# mis-users-ca-emergency.age       ← clé privée chiffrée
# mis-users-ca-emergency.pub       ← clé publique
# mis-users-ca-yubi.pub            ← clé publique de la CA Yubikey
```

```
# mis-users-ca-yubi-cert.pub       ← cert X.509 PIV (inutile pour SSH)
```

Étape 2.5 : CA pour les hôtes (optionnelle pour démarrer)

Même approche pour la CA d'hôtes, si tu décides de la mettre en place :

- Soit sur la **même Yubikey** dans le slot 9a (Authentication) ou 9d (Key Management)
- Soit avec un fichier classique chiffré, plus simple pour démarrer

Comme tu as décidé de ne pas faire les certifs machines tout de suite, on saute cette étape pour le moment. À reprendre quand tu te lanceras dans les certifs d'hôtes.

Étape 2.6 : Sauvegarde dans Bitwarden

Créer une entrée Bitwarden **“MIS SSH CA - Master Backup”** avec :

Notes (champ texte) :

```
=== Yubikey CA (slot 9c PIV) ===
Serial: [serial Yubikey]
PIN PIV: [PIN choisi]
PUK: [PUK choisi]
Algorithme: ECCP384
Touch policy: CACHED
Pin policy: ONCE

=== Emergency CA (fichier age) ===
Passphrase age: [passphrase mémorisée séparément]
Fingerprint: [ssh-keygen -l -f mis-users-ca-emergency.pub]

=== Notes ===
- Fichier age en attachment
- Passphrase NE DOIT PAS être stockée dans cette entrée
- Stocker passphrase sur papier dans coffre physique
```

Attachments :

- `mis-users-ca-emergency.age` (la clé privée emergency chiffrée)
- `mis-users-ca-emergency.pub` (clé publique emergency)
- `mis-users-ca-yubi.pub` (clé publique Yubikey)

Stratégie de la passphrase :

- **NE PAS** la stocker dans Bitwarden (sinon compromission Bitwarden = compromission CA)
- L'écrire sur papier, dans le coffre physique du bureau MIS
- Idéalement : passphrase Diceware 6-8 mots, mémorisable
- Optionnel : la séparer en 2 morceaux (Shamir Secret Sharing) entre 2 coffres distincts

Backup additionnel hors-Bitwarden :

- Clé USB chiffrée (LUKS) dans coffre physique avec une copie de tout le dossier `~/mis-ssh-ca/`
- À refaire à chaque rotation/renouvellement de CA

Phase 3 : Bootstrap d'un serveur client

Étape 3.1 : Préparation du fichier de CAs publiques

Sur ton poste de signature, prépare un fichier qui contient les **deux** clés publiques (Yubikey + emergency) que tu vas déployer sur tous les serveurs :

```
cd ~/mis-ssh-ca
cat mis-users-ca-yubi.pub mis-users-ca-emergency.pub > mis-users-ca-
deploy.pub

cat mis-users-ca-deploy.pub
# Doit contenir 2 lignes :
# ecdsa-sha2-nistp384 AAAA... MIS Users CA - Yubikey
# ssh-ed25519 AAAA... MIS Users CA - EMERGENCY USE ONLY
```

C'est ce fichier `mis-users-ca-deploy.pub` qui sera distribué sur tout le parc. OpenSSH accepte plusieurs CAs dans un même `TrustedUserCAKeys`, une par ligne.

Étape 3.2 : Déploiement sur un serveur client

Sur un serveur client (Debian 13 provisionné via cloud-init) :

```
# Copie du fichier de CAs
scp ~/mis-ssh-ca/mis-users-ca-deploy.pub mis-admin@srv01.acme.lan:/tmp/

# Côté serveur, déploiement
ssh mis-admin@srv01.acme.lan
sudo install -o root -g root -m 0644 /tmp/mis-users-ca-deploy.pub
/etc/ssh/mis-users-ca.pub

# Création d'un KRL vide initial
sudo ssh-keygen -k -f /etc/ssh/mis-revoked-keys
sudo chmod 644 /etc/ssh/mis-revoked-keys

# Configuration sshd
sudo tee -a /etc/ssh/sshd_config <<'EOF'

# ===== MIS SSH CA =====
TrustedUserCAKeys /etc/ssh/mis-users-ca.pub
RevokedKeys /etc/ssh/mis-revoked-keys
PasswordAuthentication no
KbdInteractiveAuthentication no
```

```
PubkeyAuthentication yes
# ======================
EOF

# Test et reload
sudo sshd -t && sudo systemctl reload ssh
```

À industrialiser via Ansible (voir Phase 7).

Phase 4 : Enrôlement d'une Yubikey technicien

Étape 4.1 : Génération sur le poste du technicien

Sur Windows (PowerShell, Yubikey du tech branchée) :

```
# Définition d'un PIN FIDO2 si pas déjà fait (via Yubikey Manager GUI)

ssh-keygen -t ed25519-sk -O resident -O application=ssh:mis -O verify-
required `
  -f $env:USERPROFILE\.ssh\id_ed25519_sk_yubi1 `
  -C "vincent@yubi-primary"
```

Sur Linux/macOS :

```
ssh-keygen -t ed25519-sk -O resident -O application=ssh:mis -O verify-
required \
  -f ~/.ssh/id_ed25519_sk_yubi1 \
  -C "vincent@yubi-primary"
```

Résultat : `id_ed25519_sk_yubi1` (stub) et `id_ed25519_sk_yubi1.pub` (clé publique).

Étape 4.2 : Signature par la CA Yubikey

Le tech envoie sa `.pub` au poste de signature. **Yubikey CA branchée** :

```
cd ~/mis-ssh-ca
export PKCS11=/usr/lib/x86_64-linux-gnu/opensc-pkcs11.so

# Variables
PUBKEY=/tmp/vincent-yubi-primary.pub
CERT_ID="vincent-yubi-primary-$(date +%Y)"
PRINCIPALS="mis-admin,vincent"
VALIDITY="+52w"
SERIAL=1001
```

```
ssh-keygen -s mis-users-ca-yubi.pub \
  -D $PKCS11 \
  -I "$CERT_ID" \
  -n "$PRINCIPALS" \
  -V "$VALIDITY" \
  -z $SERIAL \
  -O clear \
  -O no-port-forwarding \
  -O no-agent-forwarding \
  -O permit-pty \
  "$PUBKEY"

# → demande le PIN PIV (1x par session grâce à --pin-policy ONCE)
# → demande le touch sur la Yubikey CA
# → fichier vincent-yubi-primary-cert.pub généré à côté de la .pub
```

Note importante : avec `-D $PKCS11`, l'argument `-s` n'est **pas** la clé privée (qui est sur la Yubikey) mais la clé **publique** de la CA. C'est elle qui permet à `ssh-keygen` d'identifier laquelle utiliser sur le token.

Renvoyer le `-cert.pub` au technicien.

Étape 4.3 : Mise en place côté technicien

Le tech place le `-cert.pub` à côté de sa clé :

```
~/.ssh/
├── id_ed25519_sk_yubi1
├── id_ed25519_sk_yubi1.pub
└── id_ed25519_sk_yubi1-cert.pub    ← nouveau
```

Vérification du contenu du certificat :

```
ssh-keygen -L -f ~/.ssh/id_ed25519_sk_yubi1-cert.pub
```

Doit afficher : Signing CA (ECDSA SHA256:… = ta Yubikey CA), Principals, Valid from/to.

Étape 4.4 : Test de connexion

```
ssh -i ~/.ssh/id_ed25519_sk_yubi1 mis-admin@srv01.acme.lan
# → PIN FIDO2 demandé (côté Yubikey du tech)
# → touch Yubikey du tech
# → connecté
```

Étape 4.5 : Enrôlement de la Yubikey de backup

Répéter Étape 4.1 à 4.4 avec la deuxième Yubikey du tech. Utiliser :

- Serial différent (`-z 1002`)
- Identifiant unique (`vincent-yubi-backup-2026`)

Étape 4.6 : Configuration `~/.ssh/config` côté tech

```
Host *.acme.lan acme-* *.mis.lan
    User mis-admin
    IdentityFile ~/.ssh/id_ed25519_sk_yubi1
    IdentityFile ~/.ssh/id_ed25519_sk_yubi2
    IdentitiesOnly yes
    CertificateFile ~/.ssh/id_ed25519_sk_yubi1-cert.pub
    CertificateFile ~/.ssh/id_ed25519_sk_yubi2-cert.pub
```

Phase 5 : Révocation d'une clé

Étape 5.1 : Mise à jour de la KRL

Yubikey CA branchée sur le poste de signature :

```
cd ~/mis-ssh-ca

# Spec de révocation
cat > /tmp/krl-spec.txt <<'EOF'
# Révocation par serial
serial: 1002

# Alternative : par identifiant
# id: vincent-yubi-backup-2026

# Alternative : par hash de clé publique
# sha256: SHA256:xxxxx
EOF

# Génération/mise à jour de la KRL via Yubikey
ssh-keygen -k -f mis-revoked-keys \
  -s mis-users-ca-yubi.pub \
  -D $PKCS11 \
  -u /tmp/krl-spec.txt
# -u = update (ajoute au KRL existant)
# → demande PIN + touch
```

Étape 5.2 : Déploiement de la KRL via Ansible

```
ansible-playbook -i inventory.yml mis-update-krl.yml
```

En quelques minutes, la Yubikey backup n'est plus utilisable sur aucun serveur MIS. **Aucune modification de `sshd_config` ni `d'authorized_keys` n'est requise.**

Phase 6 : Renouvellement des certificats

Option A : Manuel

Refaire l'étape 4.2 (signature) avec un nouvel identifiant `vincent-yubi-primary-2027` et envoyer le nouveau `-cert.pub` au tech. Le tech remplace son ancien `-cert.pub`.

Option B : Automatisé via Odoo

Cron Odoo qui scanne les certificats expirant dans 30 jours et :

1. Notifie le tech par mail
2. Propose un wizard de renouvellement
3. Si le tech accepte, déclenche une demande de signature (qui attend que tu branches la Yubikey CA + valides physiquement)
4. Envoie le nouveau `-cert.pub` au tech

Phase 7 : Industrialisation Ansible

Playbook de déploiement initial CA + KRL

`playbooks/mis-ssh-ca-deploy.yml` :

```
---
- name: Deploy MIS SSH CA on all client servers
  hosts: all_clients
  become: true
  vars:
    ca_pub_path: files/mis-users-ca-deploy.pub   # contient les 2 CAs
(Yubikey + emergency)
    krl_path: files/mis-revoked-keys
  tasks:
    - name: Deploy MIS users CA public keys
      copy:
        src: "{{ ca_pub_path }}"
        dest: /etc/ssh/mis-users-ca.pub
        owner: root
        group: root
        mode: '0644'
```

```
      notify: reload sshd
    - name: Deploy current KRL
      copy:
        src: "{{ krl_path }}"
        dest: /etc/ssh/mis-revoked-keys
        owner: root
        group: root
        mode: '0644'
      notify: reload sshd
    - name: Configure sshd for MIS CA
      blockinfile:
        path: /etc/ssh/sshd_config
        marker: "# {mark} MIS CA managed by Ansible"
        block: |
          TrustedUserCAKeys /etc/ssh/mis-users-ca.pub
          RevokedKeys /etc/ssh/mis-revoked-keys
          PasswordAuthentication no
          KbdInteractiveAuthentication no
        validate: 'sshd -t -f %s'
      notify: reload sshd
    - name: Ensure mis-admin user exists
      user:
        name: mis-admin
        groups: sudo
        append: yes
        shell: /bin/bash
        state: present
    - name: Sudo NOPASSWD for mis-admin
      copy:
        content: "mis-admin ALL=(ALL) NOPASSWD:ALL\n"
        dest: /etc/sudoers.d/mis-admin
        mode: '0440'
        validate: 'visudo -cf %s'
  handlers:
    - name: reload sshd
      systemd:
        name: ssh
        state: reloaded
```

Playbook de mise à jour KRL uniquement

`playbooks/mis-update-krl.yml` :

```
---
- name: Update MIS SSH KRL on all client servers
  hosts: all_clients
  become: true
  tasks:
    - name: Deploy updated KRL
      copy:
```

```
        src: files/mis-revoked-keys
        dest: /etc/ssh/mis-revoked-keys
        mode: '0644'
      notify: reload sshd
  handlers:
    - name: reload sshd
      systemd:
        name: ssh
        state: reloaded
```

Phase 8 : Compte parachute (break-glass)

⚠ **Ne JAMAIS sauter cette étape.**

C'est un parachute **indépendant** de la CA SSH (ni Yubikey, ni emergency CA). Le compte break-glass utilise une clé SSH classique, pour le cas où **toute** la PKI CA serait inaccessible (perte Yubikey + Bitwarden corrompu + papier coffre perdu, scénario apocalypse).

```
# Sur un poste sûr, génération d'une clé classique pour le parachute
ssh-keygen -t ed25519 -a 200 -f mis-breakglass -C "MIS BREAK-GLASS - DO NOT USE"
# Choisir une passphrase ultra-robuste

# Stocker mis-breakglass (privé) :
#   - Chiffré dans Bitwarden (attachment) - entrée distincte de la CA
#   - Sur clé USB chiffrée dans coffre physique
#   - Supprimer du disque local après stockage sécurisé

# Garder mis-breakglass.pub pour déploiement
```

Intégrer la clé publique dans le template cloud-init / virt-customize de **tous** les serveurs :

```
virt-customize -a debian-13-genericcloud-amd64.qcow2 \
  --run-command 'useradd -m -s /bin/bash mis-breakglass' \
  --ssh-inject mis-breakglass:file:/path/to/mis-breakglass.pub \
  --run-command 'echo "mis-breakglass ALL=(ALL) NOPASSWD:ALL" > /etc/sudoers.d/mis-breakglass' \
  ...
```

Phase 9 : Procédure de récupération d'urgence

Cas 1 : Yubikey CA perdue / cassée, emergency disponible

Workflow :

1. Acheter une nouvelle Yubikey 5 NFC dédiée à la CA
2. Déchiffrer temporairement l'emergency :

```bash
cd ~/mis-ssh-ca
age --decrypt mis-users-ca-emergency.age > /tmp/emergency-key
chmod 600 /tmp/emergency-key
```
- **Utiliser l'emergency CA pour signer une nouvelle CA Yubikey** (chaîne de confiance temporaire) :
```bash
# Préparer la nouvelle Yubikey (Étapes 1.4 + 2.1 à 2.3)
# Tu obtiens mis-users-ca-yubi-NEW.pub
```
- Mettre à jour ''mis-users-ca-deploy.pub'' pour inclure la **nouvelle** Yubikey CA + l'emergency (toujours) :
```bash
cat mis-users-ca-yubi-NEW.pub mis-users-ca-emergency.pub > mis-users-ca-deploy.pub
```
- Déployer via Ansible sur tout le parc
- Révoquer l'ancienne Yubikey CA via KRL (signature avec la NEW Yubikey) :
```bash
cat > /tmp/krl-revoke-old-ca.txt <<'EOF'
# Révocation de l'ancienne CA Yubikey perdue
sha256: SHA256:<fingerprint de mis-users-ca-yubi-OLD.pub>
EOF

ssh-keygen -k -f mis-revoked-keys \
  -s mis-users-ca-yubi-NEW.pub \
  -D $PKCS11 \
  -u /tmp/krl-revoke-old-ca.txt
```
- **Effacement sécurisé** du fichier emergency en clair :
```bash
shred -u /tmp/emergency-key
```
- Mise à jour de l'entrée Bitwarden avec le nouveau serial Yubikey

Important : tous les certificats utilisateurs signés par l'ancienne Yubikey CA sont **toujours valides** (puisque l'ancienne CA est encore dans le déploiement jusqu'à révocation, et que la révocation cible le pub de la CA, pas les certifs signés). Pour invalider tous les certifs émis par l'ancienne CA, supprimer son `.pub` du déploiement et redéployer.

Cas 2 : Tout est perdu sauf break-glass

Scénario apocalypse : Yubikey CA perdue + Bitwarden inaccessible + papier coffre détruit.

1. Connexion sur chaque serveur via SSH avec `mis-breakglass` :

```bash
ssh -i ~/.bitwarden-recovered/mis-breakglass mis-breakglass@srv01.acme.lan
```
- Régénération complète d'une nouvelle CA (depuis zéro, Phase 2)
- Déploiement manuel du nouveau ''mis-users-ca.pub'' sur chaque serveur via ''mis-breakglass''
- Re-signature de toutes les Yubikeys techniciens
- Rotation du break-glass aussi (puisqu'il a servi)

À tester : faire un drill annuel de récupération sur un environnement de staging pour valider que la procédure marche **avant** d'en avoir vraiment besoin.

Annexes

A. Commandes utiles de diagnostic

```bash
# Inspecter un certificat utilisateur
ssh-keygen -L -f id_ed25519_sk_yubi1-cert.pub

# Voir l'état PIV de la Yubikey CA
ykman piv info

# Voir le slot 9c (où vit la CA)
ykman piv keys metadata 9c

# Voir la KRL active sur un serveur
ssh-keygen -Q -f /etc/ssh/mis-revoked-keys -t krl

# Tester un certif spécifique contre la KRL
ssh-keygen -Q -f /etc/ssh/mis-revoked-keys -t krl id_ed25519_sk_yubi1-cert.pub
# Output: "id_ed25519_sk_yubi1-cert.pub: ok" ou "REVOKED"

# Côté serveur, voir les connexions par certificat
journalctl -u ssh | grep "Accepted publickey.*ID"

# Lister les clés publiques visibles via PKCS#11 (avec Yubikey CA branchée)
ssh-keygen -D $PKCS11 -e

# Tester une signature sans toucher à un fichier
echo "test" | ssh-keygen -Y sign -n test -f mis-users-ca-yubi.pub -D $PKCS11
```

B. Format complet d'une signature ssh-keygen avec Yubikey

```bash
ssh-keygen -s CA_PUBLIC_KEY \
```

```
  -D PKCS11_PROVIDER \
  -I CERT_IDENTIFIER \
  -n PRINCIPAL1,PRINCIPAL2 \
  -V "+VALIDITY" \
  -z SERIAL \
  -O OPTION1 \
  -O OPTION2 \
  USER_PUBLIC_KEY.pub
```

Option	Description
`-s`	Chemin vers la clé **publique** de la CA (quand `-D` est utilisé)
`-D`	Path vers le module PKCS#11 (`opensc-pkcs11.so`)
`-I`	Identifiant lisible du certificat (visible dans logs sshd)
`-n`	Principals (noms d'utilisateurs autorisés), séparés par virgule
`-V`	Validité (`+52w`, `+30d`, `+8h`, `20260601:20270601`)
`-z`	Serial unique (entier)
`-h`	Génère un certificat d'**hôte** (sinon utilisateur par défaut)
`-O clear`	Reset les permissions par défaut
`-O no-port-forwarding`	Désactive le port forwarding
`-O no-agent-forwarding`	Désactive l'agent forwarding
`-O permit-pty`	Autorise l'allocation PTY (interactif)
`-O force-command="…"`	Force l'exécution d'une commande spécifique
`-O source-address="10.0.0.0/8"`	Restreint l'origine IP

C. Liens utiles

- OpenSSH manual `ssh-keygen(1)` : `man ssh-keygen` (sections CERTIFICATES et KEY REVOCATION LISTS)
- Documentation officielle Yubico FIDO2 SSH : https://developers.yubico.com/SSH/
- Documentation Yubico PIV : https://developers.yubico.com/PIV/Guides/SSH//with//PIV//and//PKCS11.html
- Documentation age : https://age-encryption.org/
- Format des certificats SSH (technique) : `PROTOCOL.certkeys` dans le code OpenSSH

Checklist de mise en place

Phase 0 - Matériel et logiciels

- [ ] Yubikey 5 NFC dédiée à la CA commandée
- [ ] Yubikeys 5 NFC techniciens commandées (2 par tech minimum)
- [ ] Bitwarden ready avec entrée “MIS SSH CA - Master Backup”
- [ ] Coffre physique identifié pour passphrase + clé USB de backup
- [ ] OpenSSH + yubikey-manager + opensc + age installés sur le poste de signature

Phase 1-2 - CA

- [ ] PINs PIV de la Yubikey CA configurés (PIN + PUK + management key)
- [ ] CA principale générée sur Yubikey (slot 9c, ECCP384)
- [ ] Clé publique Yubikey CA exportée (`mis-users-ca-yubi.pub`)
- [ ] Emergency CA générée offline + chiffrée avec age
- [ ] Backup Bitwarden : attachments + notes + passphrase sur papier en coffre
- [ ] Backup additionnel sur clé USB LUKS dans coffre

Phase 3 - Bootstrap parc

- [ ] Compte break-glass `mis-breakglass` créé et clé déployée partout (indépendant CA)
- [ ] Playbook Ansible `mis-ssh-ca-deploy.yml` testé sur 1-2 serveurs
- [ ] Fichier `mis-users-ca-deploy.pub` contient les 2 CAs (Yubikey + emergency)
- [ ] Déploiement progressif sur le parc complet

Phase 4 - Techniciens

- [ ] Premières Yubikeys enrôlées (toi en priorité)
- [ ] Tests de connexion validés
- [ ] Configuration `~/.ssh/config` documentée pour les techs

Phase 5+ - Industrialisation

- [ ] Module Odoo `makeitsimple_ssh_ca` (modèles + wizards)
- [ ] Intégration Semaphore pour déploiement KRL
- [ ] Cron de notification d'expiration des certifs
- [ ] [ ] **Drill de récupération annuel** (cas 1 emergency) testé en staging

---

Document maintenu par Make IT Simple - dernière révision : 2026