

- [Page de garde](#)
- [Analyse du besoin](#)
 - [1. Contexte général](#)
 - [2. Contexte technique initial](#)
 - [2.1 Réseau actuel](#)
 - [2.2 Serveurs et hyperviseur](#)
 - [2.3 Contraintes majeures](#)
 - [3. Expression du besoin](#)
 - [4. Objectifs du projet](#)
 - [Objectif principal](#)
 - [Objectifs techniques détaillés](#)
 - [5. Conditions de réalisation](#)
 - [5.1 Conditions générales](#)
 - [5.2 Ressources fournies](#)
 - [6. Résultats attendus](#)
- [Conception](#)
 - [1. Architecture cible](#)
 - [Architecture cible - vue globale \(réalisée\)](#)
 - [1.2 Choix techniques \(réalisés\)](#)
- [Mise en œuvre](#)
 - [1. Introduction](#)
 - [2. Préparation : installation des nœuds Proxmox \(pve2 et pve3\)](#)
 - [2.1 Configuration réseau à l'installation](#)
 - [Pourquoi ?](#)
 - [Comment ?](#)
 - [Résultat attendu](#)
 - [Résultat obtenu](#)
 - [3. Stockage : ZFS + réplication Proxmox](#)
 - [3.1 Principe retenu](#)
 - [Pourquoi ?](#)
 - [Comment ?](#)
 - [Résultat attendu](#)
 - [Résultat obtenu](#)
 - [4. Cluster Proxmox VE](#)
 - [4.1 Création / état initial "pas de cluster"](#)

- [Pourquoi ?](#)
 - [Comment ?](#)
 - [Résultat attendu](#)
 - [Résultat obtenu](#)
- [5. Déploiement d'un service de test en conteneur \(LXC Ubuntu\)](#)
 - [5.1 Téléchargement du template Ubuntu](#)
 - [Pourquoi ?](#)
 - [Comment ?](#)
 - [Résultat attendu](#)
 - [Résultat obtenu](#)
 - [5.2 Création du CT 102 \(ubuntu2-lxc\)](#)
 - [Pourquoi ?](#)
 - [Comment ?](#)
 - [Résultat attendu](#)
 - [Résultat obtenu](#)
- [6. Activation HA \(High Availability\)](#)
 - [6.1 Ajout du CT 102 en ressource HA](#)
 - [Pourquoi ?](#)
 - [Comment ?](#)
 - [Résultat attendu](#)
 - [Résultat obtenu](#)
 - [6.2 Ajout du CT 103 en ressource HA](#)
 - [Pourquoi ?](#)
 - [Comment ?](#)
- [7. Tests de bascule \(preuve du scénario HA\)](#)
 - [7.1 Test : arrêt d'un nœud \(pve1\)](#)
 - [Pourquoi ?](#)
 - [Comment ?](#)
 - [Résultat attendu](#)
 - [Résultat obtenu](#)
- [Documentation d'exploitation](#)
 - [1. Vérifications rapides \(admin\)](#)
 - [2. Procédure : ajouter une ressource HA](#)
 - [3. Procédure : test de bascule \(méthode\)](#)
- [Tests, validation et résultats](#)
 - [Plan de test \(résumé\)](#)
- [Pistes d'amélioration \(reste à finaliser\)](#)

- [Compétences du référentiel travaillées](#)
 - [Conclusion](#)
-

Page de garde

Projet 1 - Modernisation et sécurisation du site principal

Scénario 4 : Redondance et haute disponibilité

Entreprise : EcoSolar Solutions

Etudiante : Elsa Ayache

Groupe : Ndongo-tovor Moise, Desmazeaux Samy, Ayache Elsa

Diplôme : BTS SIO SISR : Epreuve E6

Année : 2025

Encadrant : Mohamed Ledgiar

Analyse du besoin

1. Contexte général

EcoSolar Solutions est une entreprise fictive spécialisée dans la fabrication de panneaux solaires à haut rendement.

Elle possède un savoir-faire unique protégé par des brevets industriels, ce qui rend la protection et la disponibilité de ses données critiques.

L'entreprise connaît une croissance rapide :

- passage de 50 à 80 employés
- augmentation du volume de données
- nouveaux besoins métiers (ERP, GLPI, supervision, messagerie, téléphonie, VoIP, etc.)
- volonté de moderniser son SI

Le siège est situé à Toulouse, où se trouvent :

- les bureaux
- l'atelier de production
- la salle serveur
- l'ensemble du système d'information actuel

L'entreprise est accompagnée par la société d'infogérance WildCorp, où je travaille en tant que technicien/administrateur système et réseau.

2. Contexte technique initial

2.1 Réseau actuel

Switch => Cisco 3560 - VLAN par défaut, pas de segmentation

Firewall => pfSense - règles trop permissives

Réseau => IPv4 /24, réseau plat

WiFi => WPA2 - AP Cisco C9136I

Accès internet => Box FAI en mode bridge

Réseau entièrement plat, non segmenté, non sécurisé

SPOF : un seul firewall, un seul switch, aucun lien redondant

2.2 Serveurs et hyperviseur

- Infrastructure initialement non redondée
- Services critiques hébergés sur un nombre limité d'hôtes
- Aucun mécanisme automatique de reprise en cas de panne

Risque majeur : panne d'un nœud = indisponibilité des services.

2.3 Contraintes majeures

- Aucun PRA / PCA
- Pas de cluster au départ
- Pas de HA
- Pas de stockage répliqué / partagé
- Segmentation à construire
- Contexte "formation" : ressources limitées, démonstration pédagogique

3. Expression du besoin

Assurer la continuité des services critiques

Une panne de l'ERP, de l'AD ou de la messagerie bloque immédiatement :

- la production
- la logistique
- les achats
- la gestion commerciale
- le support

- la RH

Supprimer les points de défaillance uniques (SPOF)

Actuellement :

- 1 nœud = SPOF
- 1 lien = SPOF
- 1 firewall = SPOF

Moderniser l'infrastructure pour absorber la croissance

- 30 nouveaux collaborateurs
- nouveaux outils métiers
- futur datacenter à Marseille

Renforcer la sécurité globale du SI

- Segmentation réseau
- durcissement
- politique de sauvegarde
- journalisation et supervision

Préparer la phase 2 : interconnexion avec le datacenter

4. Objectifs du projet

Objectif principal

Mettre en place une **infrastructure tolérante aux pannes** (cluster + redondance + bascule).

Objectifs techniques détaillés

1. Créer un cluster Proxmox VE multi-nœuds.
2. Mettre en place un stockage adapté à la HA (**ZFS + réplication** dans notre contexte).
3. Activer la haute disponibilité (HA) sur des services/VM de démonstration.
4. Réaliser des tests de bascule (arrêt d'un nœud).
5. Documenter complètement : architecture, procédures, preuves de tests.

Note : le cluster firewall (CARP) et le spanning-tree étaient prévus mais n'ont pas été finalisés dans notre réalisation (voir "Pistes d'amélioration").

5. Conditions de réalisation

5.1 Conditions générales

- Projet réalisé au sein de l'école
- Travail en mode Agile
- Environnement virtualisé (nœuds Proxmox en VM)
- Ressources limitées
- Respect des bonnes pratiques (sécurité, documentation, tests)

5.2 Ressources fournies

- Accès Proxmox + VMs
 - Contexte EcoSolar
 - Consignes Projet 1
 - Outils : GitHub, Obsidian, console Proxmox, Packet Tracer, pfSense
-

6. Résultats attendus

À la fin du projet, l'infrastructure doit :

Résister à la panne d'un nœud Proxmox

(redémarrage automatique d'un service HA sur un autre nœud)

Prouver la bascule

(avec captures et étapes reproductibles)

Préparer la segmentation et la redondance réseau

(VLAN/LACP/CARP planifiés)

Conception

1. Architecture cible

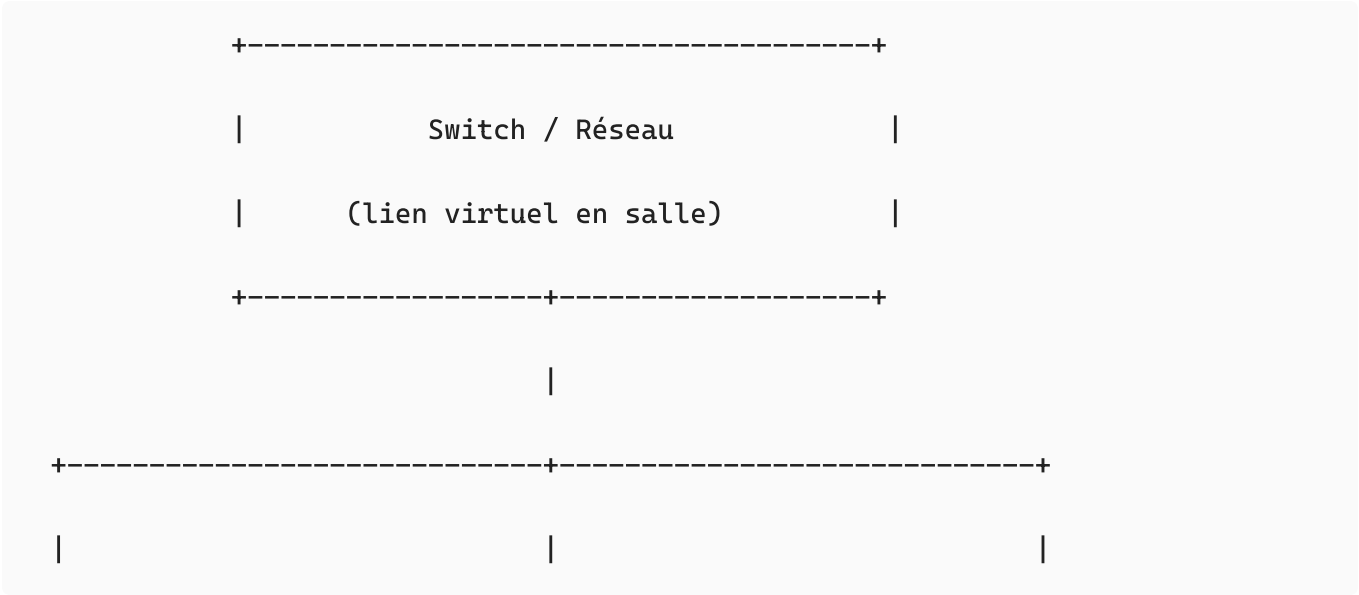
L'architecture cible vise une infrastructure **redondée**, sécurisée et capable d'assurer une continuité de service.

Dans notre réalisation pédagogique, la HA s'appuie sur :

- **Cluster Proxmox 3 nœuds** (quorum stable)

- **Stockage ZFS** sur chaque nœud + **réplication Proxmox**
- **HA Proxmox** (redémarrage automatique)

Architecture cible - vue globale (réalisée)



```

+-----+-----+ +-----+-----+ +-----+-----+
| pve1 || pve2 || pve3 |
| 192.168... || 192.168... || 192.168... |
| .210 || .220 || .230 |
+-----+-----+ +-----+-----+ +-----+-----+
|||
+-----+-----+
ZFS local + Réplication (Proxmox)
  
```

- HA Proxmox (redémarrage auto)

1.2 Choix techniques (réalisés)

Composant	Solution retenue	Pourquoi ?
Hyperviseur	Proxmox VE	Cluster + HA intégrée, simple à démontrer
Cluster	Corosync	Synchronisation et quorum
Stockage	ZFS + Réplication Proxmox	Adapté au contexte, preuve de HA sans SAN
Conteneurs de test	LXC Ubuntu	Rapide à déployer, léger
HA	Proxmox HA Manager	Objectif principal du scénario

Mise en œuvre

1. Introduction

Cette partie décrit l'ensemble des opérations réalisées pour transformer l'infrastructure en un environnement **clusterisé** et **hautement disponible**.

Chaque étape suit :

- Pourquoi ?
 - Comment ?
 - Résultat attendu
 - Résultat obtenu
 - Preuves (captures)
-

2. Préparation : installation des nœuds Proxmox (pve2 et pve3)

2.1 Configuration réseau à l'installation

Pourquoi ?

Chaque nœud doit être joignable sur le réseau et avoir une IP fixe, indispensable pour Corosync et l'administration.

Comment ?

Pendant l'installation Proxmox VE, configuration du réseau de management.

Exemple pve2 : IP 192.168.100.220/24



Proxmox VE Installer

Summary

Please confirm the displayed information. Once you press the **Install** button, the installer will begin to partition your drive(s) and extract the required files.

Option	Value
Filesystem:	ext4
Disk(s):	/dev/sda
Country:	France
Timezone:	Europe/Paris
Keymap:	fr
Email:	coucou@gmail.local
Management Interface:	nic1
Hostname:	pve
IP CIDR:	192.168.100.220/24
Gateway:	192.168.100.254
DNS:	9.9.9.9

☒ Automatically reboot after successful installation

Abort

Previous

Install



Proxmox VE Installer

Summary

Please confirm the displayed information. Once you press the **Install** button, the installer will begin to partition your drive(s) and extract the required files.

Option	Value
Filesystem:	ext4
Disk(s):	/dev/sda
Country:	France
Timezone:	Europe/Paris
Keymap:	fr
Email:	coucou@gmail.local
Management Interface:	nic1
Hostname:	pve
IP CIDR:	192.168.100.220/24
Gateway:	192.168.100.254
DNS:	9.9.9.9


☒ Automatically reboot after successful installation

Abort

Previous

Install

Résumé de configuration pve2

 Proxmox VE Installer

Summary

Please confirm the displayed information. Once you press the **Install** button, the installer will begin to partition your drive(s) and extract the required files.

Option	Value
Filesystem:	ext4
Disk(s):	/dev/sda
Country:	France
Timezone:	Europe/Paris
Keymap:	fr
Email:	coucou@gmail.local
Management Interface:	nic1
Hostname:	pve
IP CIDR:	192.168.100.230/24
Gateway:	192.168.100.254
DNS:	9.9.9.9

☐ Automatically reboot after successful installation

AbortPreviousInstall

Console post-installation : accès web pve2

```
-----
Welcome to the Proxmox Virtual Environment. Please use your web browser to
configure this server - connect to:

https://192.168.100.220:8006/
-----

pve login:
pve login: _
```



Management Network Configuration

Please verify the displayed network configuration. You will need a valid network configuration to access the management interface after installing.

After you have finished, press the Next button. You will be shown a list of the options that you chose during the previous steps.

- **IP address (CIDR):** Set the main IP address and netmask for your server in CIDR notation.
- **Gateway:** IP address of your gateway or firewall.
- **DNS Server:** IP address of your DNS server.

Management Interface

● nic1 - 08:00:27:74:61:2d (e1000)

Hostname (FQDN)

pve.ecosolar.local

IP Address (CIDR)

192.168.100.230

/

24

Gateway

192.168.100.254

DNS Server

9.9.9.9

☒ Pin network interface names

Options

Abort

Previous

Next

Résumé de configuration pve3 + console (URL)



Créer les utilisateurs et choisir les mots de passe

Vous devez choisir un mot de passe pour le superutilisateur, le compte d'administration du système. Un utilisateur malintentionné ou peu expérimenté qui aurait accès à ce compte peut provoquer des désastres. En conséquence, ce mot de passe ne doit pas être facile à deviner, ni correspondre à un mot d'un dictionnaire ou vous être facilement associé.

Un bon mot de passe est composé de lettres, chiffres et signes de ponctuation. Il devra en outre être changé régulièrement.

Le superutilisateur (« root ») ne doit pas avoir de mot de passe vide. Si vous laissez ce champ vide, le compte du superutilisateur sera désactivé et le premier compte qui sera créé aura la possibilité d'obtenir les privilèges du superutilisateur avec la commande « sudo ».

Par sécurité, rien n'est affiché pendant la saisie.

Mot de passe du superutilisateur (« root ») :

●●●●

☐ Afficher le mot de passe en clair

Veuillez entrer à nouveau le mot de passe du superutilisateur afin de vérifier qu'il a été saisi correctement.

Confirmation du mot de passe :

●●●●

☐ Afficher le mot de passe en clair

Capture d'écran

Revenir en arrière

Continuer

Créer les utilisateurs et choisir les mots de passe

Un compte d'utilisateur va être créé afin que vous puissiez disposer d'un compte différent de celui du superutilisateur (« root »), pour l'utilisation courante du système.

Veuillez indiquer le nom complet du nouvel utilisateur. Cette information servira par exemple dans l'adresse d'origine des courriels émis ainsi que dans tout programme qui affiche ou se sert du nom complet. Votre propre nom est un bon choix.

Nom complet du nouvel utilisateur :

Capture d'écran

Revenir en arrière

Continuer

Résultat attendu

Les nœuds Proxmox sont accessibles via HTTPS sur le port 8006.

Résultat obtenu

Accès validé :

- <https://192.168.100.220:8006> (pve2)
- <https://192.168.100.230:8006> (pve3)

3. Stockage : ZFS + réplication Proxmox

3.1 Principe retenu

Pourquoi ?

La HA nécessite que les données des VM/CT soient disponibles sur un autre nœud en cas de panne.

Dans notre contexte (formation), nous utilisons :

- un pool **ZFS** (ex : `zfs-ha-shared`)
- la **réplication Proxmox** (copie fréquente des volumes vers d'autres nœuds)

Comment ?

- création/usage d'un stockage ZFS (pool existant dans l'environnement)
- configuration de la réplication sur les invités HA

Preuve : réplication configurée pour l'invité 103 vers pve1 et pve3 (toutes les minutes)

<div>Add Edit Remove Log Schedule now</div>									
Enabled	Guest ↑	Job ↑	Target	Status	Last Sync	Dur...	Next Sync	Sched...	Comn
✓	103	0	pve1	✓ OK	-	-	pending	*/1	
✓	103	1	pve3	✓ OK	-	-	pending	*/1	

Résultat attendu

Un invité peut être redémarré ailleurs avec des données répliquées.

Résultat obtenu

Réplication "OK" (statut vert), planification active.

4. Cluster Proxmox VE

4.1 Création / état initial "pas de cluster"

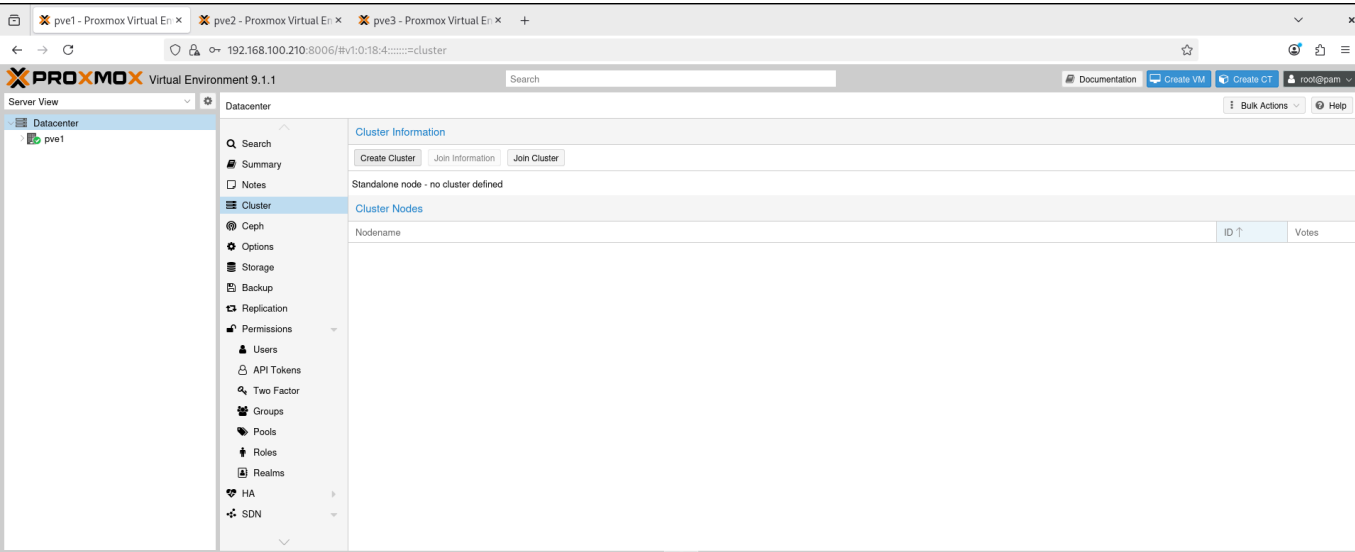
Pourquoi ?

Le cluster est requis pour HA (gestion centralisée, quorum, bascule automatique).

Comment ?

Depuis **Datacenter** → **Cluster** sur pve1.

État initial : aucun cluster défini



Résultat attendu

Création d'un cluster puis ajout des nœuds.

Résultat obtenu

Cluster opérationnel avec 3 nœuds (quorum OK).

Preuve : cluster + quorum OK (vue HA)

Status

Type	Status
quorum	OK
master	pve3 (active, Fri Dec 5 15:16:54 2025)
lrm	pve1 (active, Fri Dec 5 15:16:46 2025)
lrm	pve2 (idle, Fri Dec 5 15:16:52 2025)
lrm	pve3 (idle, Fri Dec 5 15:16:52 2025)

Resources

Add

Edit

Remove

ID	State	Node	Name	Max. Restart	Max. Reloc...	Failback	Description
ct:102	started	pve1	ubuntu2-lxc	2	1	true	

5. Déploiement d'un service de test en conteneur (LXC Ubuntu)

5.1 Téléchargement du template Ubuntu

Pourquoi ?

Pour créer un conteneur LXC rapidement (léger, adapté à la démonstration HA).

Comment ?

Sur un nœud Proxmox :

- mise à jour de la liste des templates
- téléchargement du template Ubuntu

pveam update

```
Linux pve2 6.17.2-1-pve #1 SMP PREEMPT_DYNAMIC PMX 6.17.2-1 (2025-10-21T11:55Z) x86_64

The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.

Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
Last login: Wed Dec  3 14:33:12 2025 from 192.168.100.240
root@pve2:~# pveam update
update successful
root@pve2:~#
```

pveam download (Ubuntu 25.04)

```
turnkeylinux  debian-12-turnkey-torrentserver_18.0-1_amd64.tar.gz
turnkeylinux  debian-12-turnkey-tracks_18.0-1_amd64.tar.gz
turnkeylinux  debian-12-turnkey-typo3_18.0-1_amd64.tar.gz
turnkeylinux  debian-12-turnkey-ushahidi_18.0-1_amd64.tar.gz
turnkeylinux  debian-12-turnkey-web2py_18.0-1_amd64.tar.gz
turnkeylinux  debian-12-turnkey-wireguard_18.2-1_amd64.tar.gz
turnkeylinux  debian-12-turnkey-wordpress_18.2-1_amd64.tar.gz
turnkeylinux  debian-12-turnkey-xoops_18.0-1_amd64.tar.gz
turnkeylinux  debian-12-turnkey-yiiframework_18.0-1_amd64.tar.gz
turnkeylinux  debian-12-turnkey-zencart_18.0-1_amd64.tar.gz
turnkeylinux  debian-12-turnkey-zoneminder_18.0-1_amd64.tar.gz
root@pve2:~# pveam download local ubuntu-25.04-standard_25.04-1.1_amd64.tar.zst
```

Résultat attendu

Le template Ubuntu est présent dans `local`.

Résultat obtenu

Template téléchargé et utilisable dans l'assistant de création LXC.

5.2 Création du CT 102 (ubuntu2-lxc)

Pourquoi ?

Créer un “service témoin” pour tester :

- réplication
- HA
- bascule automatique

Comment ?

Création via **Create CT**.

Général (CT 102 / ubuntu2-lxc, unprivileged, nesting)

Create: LXC Container

General Template Disks CPU Memory Network DNS Confirm

Node: pve1 Resource Pool:

CT ID: 102 Password:

Hostname: ubuntu2-lxc Confirm password:

Unprivileged container: ☒ SSH public key(s):

Nesting: ☒

Add to HA: ☐ [Load SSH Key File](#)

Tags

No Tags +

? Help Advanced ☒ Back Next

Template choisi (Ubuntu 25.04)

Create: LXC Container

General

Template

Disks

CPU

Memory

Network

DNS

Confirm

Storage:

local

Template:

ubuntu-25.04-standard_25.04-1.1_

Help

Advanced ☒

Back

Next

Disque (stockage ZFS : zfs-ha-shared)

Create: LXC Container

General

Template

Disks

CPU

Memory

Network

DNS

Confirm

rootfs

Storage:

zfs-ha-shared

Disk size (GiB):

8

Enable quota:

☐

ACLs:

Default

Mount options:

Skip replication:

☐

+

Add

Advanced☒

Back

Next

CPU

Create: LXC Container

General

Template

Disks

CPU

Memory

Network

DNS

Confirm

Cores:

1

CPU limit:

unlimited

CPU units:

100

Help

Advanced ☒

Back

Next

Mémoire

Create: LXC Container

General

Template

Disks

CPU

Memory

Network

DNS

Confirm

Memory (MiB):

512

Swap (MiB):

512

?

 Help

Advanced ☒

Back

Next

Réseau (IP statique + gateway)

Create: LXC Container

General

Template

Disks

CPU

Memory

Network

DNS

Confirm

Name:

eth0

MAC address:

auto

Bridge:

vmbr0

VLAN Tag:

no VLAN

Firewall:

☒

IPv4:

☒ Static ☐ DHCP

IPv4/CIDR:

192.168.100.2/24

Gateway (IPv4):

192.168.100.254

IPv6:

☒ Static ☐ DHCP ☐ SLAAC

IPv6/CIDR:

None

Gateway (IPv6):

Disconnect:

☐

Rate limit (MB/s):

unlimited

MTU:

Same as bridge

Host-Managed:

☐

?

Help

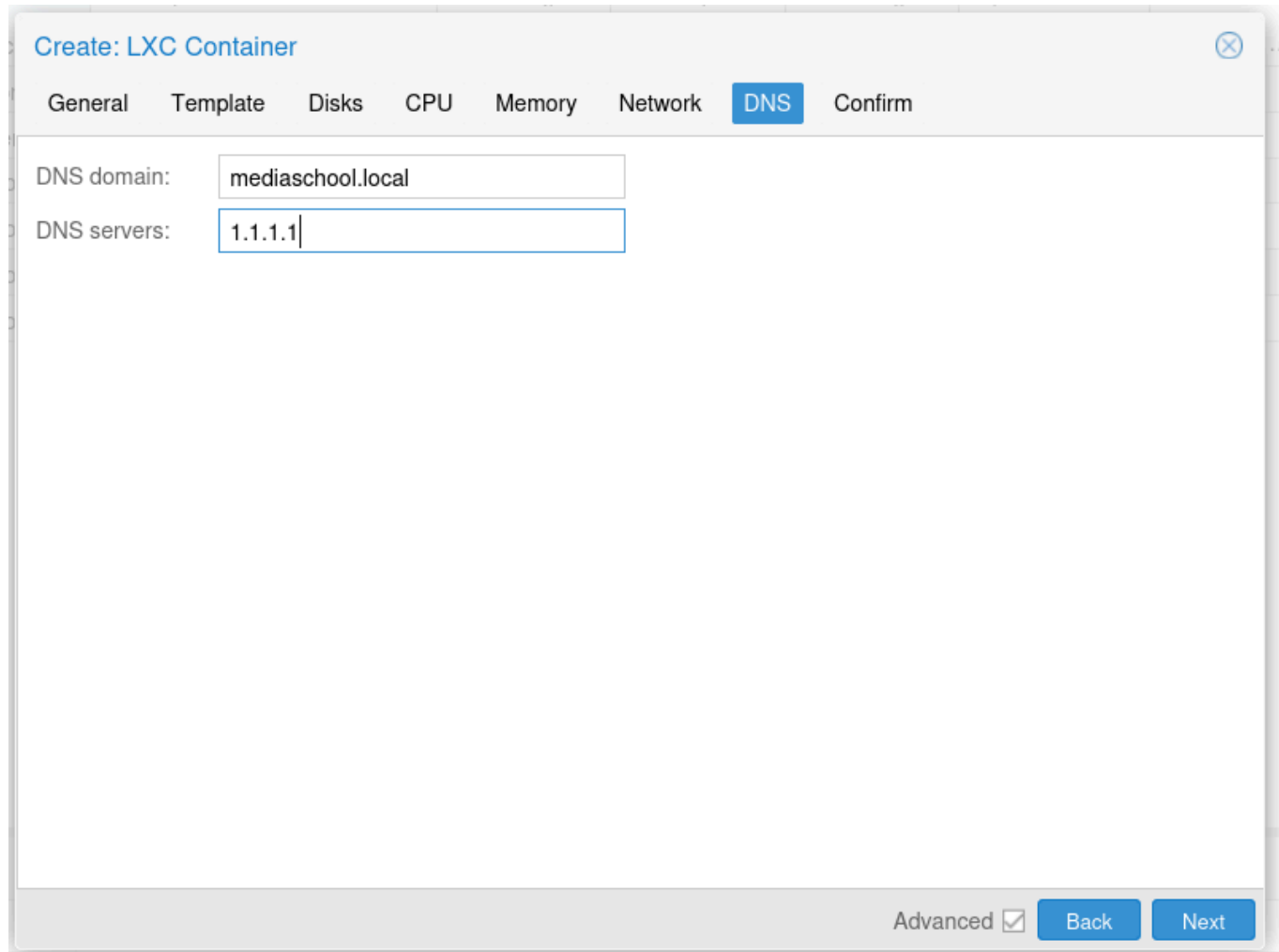
Advanced

☒

Back

Next

DNS



The screenshot shows the 'Create: LXC Container' wizard in Proxmox VE, specifically the 'DNS' tab. The wizard has a progress bar at the top with tabs for General, Template, Disks, CPU, Memory, Network, DNS (selected), and Confirm. The DNS tab contains two input fields: 'DNS domain:' with the value 'mediaschool.local' and 'DNS servers:' with the value '1.1.1.1'. At the bottom right, there is an 'Advanced' checkbox which is checked, and two buttons labeled 'Back' and 'Next'.

Create: LXC Container

General Template Disks CPU Memory Network **DNS** Confirm

DNS domain: mediaschool.local

DNS servers: 1.1.1.1

Advanced ☒ Back Next

Résultat attendu

Le conteneur est créé et démarre correctement.

Résultat obtenu

CT 102 fonctionnel.

6. Activation HA (High Availability)

6.1 Ajout du CT 102 en ressource HA

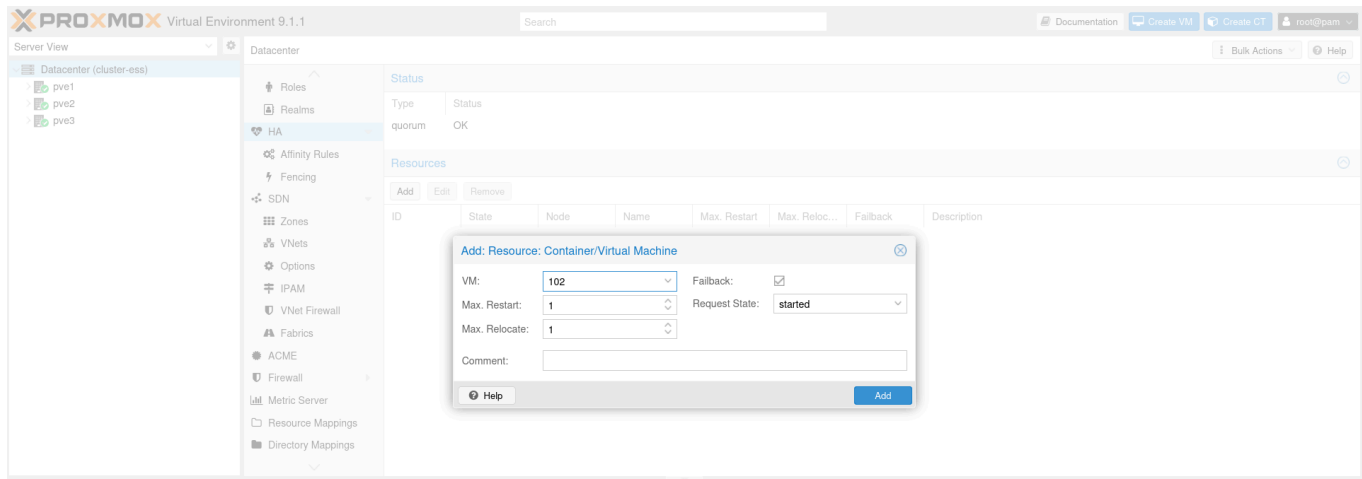
Pourquoi ?

Pour que Proxmox redémarre automatiquement le conteneur si le nœud hébergeant tombe.

Comment ?

Datacenter → HA → Resources → Add

Ajout CT 102 dans HA



Add: Resource: Container/Virtual Machine

VM: 102

Max. Restart: 2

Max. Relocate: 1

Failback: ☒

Request State: started

Comment:

Help

Add

Résultat attendu

CT 102 apparaît comme ressource HA.

Résultat obtenu

CT 102 présent dans la liste HA, état “started”, règles de redémarrage configurées.

Preuve : ressource HA visible (ct:102)

Status

Type	Status
quorum	OK
master	pve3 (active, Fri Dec 5 15:16:54 2025)
lrm	pve1 (active, Fri Dec 5 15:16:46 2025)
lrm	pve2 (idle, Fri Dec 5 15:16:52 2025)
lrm	pve3 (idle, Fri Dec 5 15:16:52 2025)

Resources

Add

Edit

Remove

ID	State	Node	Name	Max. Restart	Max. Reloc...	Failback	Description
ct:102	started	pve1	ubuntu2-lxc	2	1	true	

6.2 Ajout du CT 103 en ressource HA

Pourquoi ?

Avoir un deuxième service pour valider la logique HA + réplication.

Comment ?

Même démarche, ajout de CT 103.

Ajout ressource HA : 103

Add: Resource: Container/Virtual Machine

VM:

103

Failback:

☒

Max. Restart:

1

Request State:

started

Max. Relocate:

1

Comment:

Help

Add

7. Tests de bascule (preuve du scénario HA)

7.1 Test : arrêt d'un nœud (pve1)

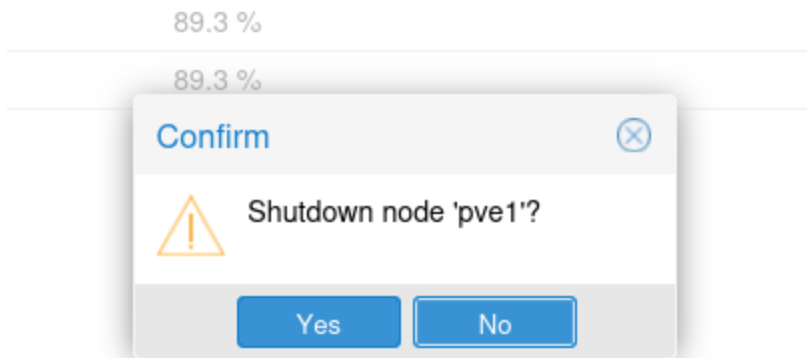
Pourquoi ?

Prouver que l'infrastructure résiste à la perte d'un nœud et que la ressource HA redémarre ailleurs.

Comment ?

Arrêt manuel du nœud pve1.

Confirmation d'arrêt du nœud



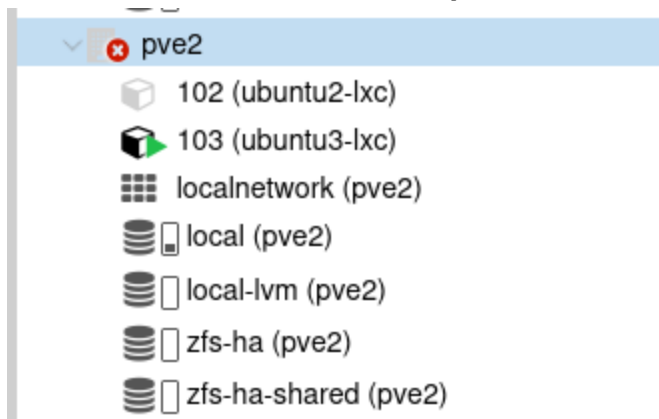
Résultat attendu

Les ressources HA redémarrent automatiquement sur un autre nœud (pve2 ou pve3).

Résultat obtenu

Le CT 103 est visible en état "started" sur pve2 (preuve de bascule).

Preuve : CT 103 démarré sur pve2



Documentation d'exploitation

1. Vérifications rapides (admin)

- Vérifier cluster : `pvecm status`
- Vérifier HA : Datacenter → HA → Resources / Status
- Vérifier réplication : Datacenter → Replication (statut OK)
- Vérifier logs : Node → System → Syslog / Datacenter → Tasks

2. Procédure : ajouter une ressource HA

1. Créer la VM/CT (stockage ZFS recommandé)
2. Mettre en place la réplication si nécessaire
3. Datacenter → HA → Add
4. Paramétrer :
 - Request State : started
 - Max Restart / Max Relocate selon besoin
5. Tester une bascule (arrêt contrôlé d'un nœud)

3. Procédure : test de bascule (méthode)

1. Noter où tourne la ressource (nœud actuel)
2. Arrêter le nœud (ou simuler panne réseau)
3. Observer la relocalisation/redémarrage
4. Capturer :
 - fenêtre d'arrêt
 - état HA
 - arbre des nœuds montrant la ressource démarrée ailleurs

Tests, validation et résultats

Plan de test (résumé)

ID	Test	Attendu	Résultat	Preuve
T-01	Accès pve2/pve3	Accès HTTPS:8006	OK	captures installation + console
T-02	Cluster actif	Quorum OK	OK	vue HA "quorum OK"
T-03	Réplication	Statut OK + planif	OK	liste réplication

ID	Test	Attendu	Résultat	Preuve
T-04	Ressource HA	CT visible en HA	OK	HA resources
T-05	Bascule nœud	CT redémarre ailleurs	OK	arrêt pve1 + CT 103 sur pve2

Pistes d'amélioration (reste à finaliser)

1. Finaliser la segmentation VLAN (Admin/Serveurs/Users/DMZ)
2. Mettre en place LACP sur les liens (si infra physique disponible)
3. Mettre en œuvre le cluster pfSense en CARP (VIP + sync config)
4. Ajouter une vraie supervision (Zabbix / Centreon / Grafana)
5. Mettre en place une politique de sauvegarde (PBS, rétention, tests de restauration)
6. Ajouter un mécanisme de fencing / qdevice si nécessaire selon architecture

Compétences du référentiel travaillées

- Travailler en mode projet (organisation, jalons, livrables)
- Installer et configurer des services d'infrastructure (Proxmox, LXC)
- Concevoir une architecture résiliente (cluster, stockage, réplication)
- Valider par des tests et produire une documentation d'exploitation
- Appliquer les bonnes pratiques (IP fixes, séparation des rôles, preuves, traçabilité)

Conclusion

Ce projet a permis de mettre en œuvre une infrastructure Proxmox en cluster avec réplication ZFS et haute disponibilité.

La démonstration par test réel (arrêt d'un nœud) prouve que les services HA peuvent redémarrer automatiquement sur un autre nœud, réduisant fortement les risques d'indisponibilité.

Les axes réseau (VLAN/LACP/RSTP) et firewall (CARP) restent à finaliser pour atteindre l'architecture cible complète, mais la base HA serveur est fonctionnelle et démontrée.