🧱 CM1 : Fondamentaux de l'architecture logicielle

BUT Informatique — Ressource R4.01 « Architecture logicielle »

Enseignant : Marc Ennaji

🛠️ Objectif du cours :

Comprendre **pourquoi** l'architecture logicielle est essentielle et maîtriser les **principes fondamentaux** qui guident toute bonne conception.

🧩 Plan du cours

1. Pourquoi une architecture logicielle ?
2. L'architecture à l'ère des assistants de codage IA
3. **Principes fondamentaux** :
    - Cohésion
    - Couplage
    - Gestion des dépendances
    - Séparation des responsabilités
    - Inversion de dépendances
4. **Architecture hexagonale** (Ports & Adapters)
5. Présentation du projet ticketing

🎯 Ce que vous allez construire

Vous allez appliquer ces principes sur un **projet fil rouge** :

- 🎫 **Système de tickets** (simplifié, type Trello/Jira)
- 🏛️ **Architecture hexagonale imposée** (vous comprendrez pourquoi)
- ⏱️ **20h de TD** pour maîtriser les fondamentaux

➡️ **Ce CM vous donne les clés pour réussir le projet.**

🚀 1. Pourquoi parler d'architecture ?

Sans vraie architecture, on obtient vite :

- Du **code spaghetti** 🍝
- Une application **difficile à comprendre**
- Des bugs qui reviennent en boucle
- Une application **impossible à tester**
- Une appli qui ne supporte pas bien les évolutions

👉 L'architecture sert à organiser le logiciel pour qu'il soit **vivable** sur le long terme.

🎯 Objectifs d'une bonne architecture

Une bonne architecture doit aider à :

- 🔧 **Maintenir** : corriger, faire évoluer
- 📦 **Modulariser** : pouvoir changer une partie sans tout casser
- 🧪 **Tester** : isoler le métier pour le tester sans tout l'environnement
- 🌱 **Faire évoluer** : ajouter des fonctionnalités sans tout réécrire
- 👩‍💻 **Comprendre** : nouveaux développeurs qui arrivent sur le projet

> *Plus l'architecture est pensée, moins on "jette et réécrit" les applis.*

🤖 2. L'architecture à l'ère de l'IA

« Avec Copilot, ChatGPT, Cursor... je code par "intuition" et ça marche. L'architecture, c'est moins important ? »

❌ **FAUX.** C'est même l'inverse.

💬 *Le "vibe coding" (coder à l'instinct avec l'IA) a sa place pour prototyper.*
Mais en production sans maîtrise des fondamentaux → dette technique garantie.

🤖 Pourquoi l'architecture devient PLUS importante

1. **"Vibe coding" = productivité court terme, chaos moyen terme**
    - L'IA + votre intuition → Code qui marche *maintenant*
    - Mais sans vision architecturale → Dette technique exponentielle
    - *Dans 6 mois : "Qui a écrit ce code ?" — Spoiler : c'était vous + l'IA*
2. **L'IA ne conçoit pas de systèmes**
    - Elle respecte une architecture *si vous lui expliquez laquelle*
    - Elle amplifie vos décisions (bonnes **ou** mauvaises)
3. **Le "vibe" ne scale pas**
    - 100 lignes → intuition OK | 10 000 lignes → structure nécessaire | 100 000 lignes → principes indispensables

🎯 À retenir !

> 💡 **L'IA code très bien. Aucune IA n'est ingénieure logicielle.**

Votre valeur = comprendre le système, pas juste générer du code.

Usages légitimes du "vibe coding" :

- ✅ Prototypage rapide / POC
- ✅ Scripts one-shot

Mais en production sans fondamentaux = illusion de compétence :

- Ça marche maintenant → mais ça ne scale pas → personne ne comprend dans 3 mois

💡 **Ce cours vous donne les fondamentaux** pour concevoir des systèmes cohérents que l'IA pourra ensuite vous aider à implémenter.

🧠 3. Principes fondamentaux

Ces principes sont **universels** — ils s'appliquent quelle que soit l'architecture choisie.

Les maîtriser, c'est pouvoir :

- Évaluer la qualité d'un code existant
- Guider une IA efficacement
- Faire les bons choix de conception

3.1 La cohésion

> **Ce qui va ensemble doit rester ensemble.**

Une classe, un module, un service doit avoir une **responsabilité claire et focalisée**.

✅ **Forte cohésion** (bien) :

```
class ShoppingCart:
    def add_item(self, item): ...
    def remove_item(self, item): ...
    def calculate_total(self): ...
    def apply_discount(self, code): ...
```

3.1 La cohésion

❌ **Faible cohésion** (problème) :

```
class ShoppingCart:
    def add_item(self, item): ...
    def send_email(self, to, subject): ...  # ❌ Rien à voir !
    def generate_pdf_report(self): ...      # ❌ Pas sa responsabilité
```

3.1 La cohésion — pourquoi c'est important ?

Faible cohésion = problèmes garantis :

- 🪛 Modifications à un endroit cassent des choses sans rapport
- 🧪 Tests difficiles : il faut mocker des choses non liées
- 🤯 Code difficile à comprendre : "cette classe fait quoi exactement ?"
- 🔄 Réutilisation impossible : tout est mélangé

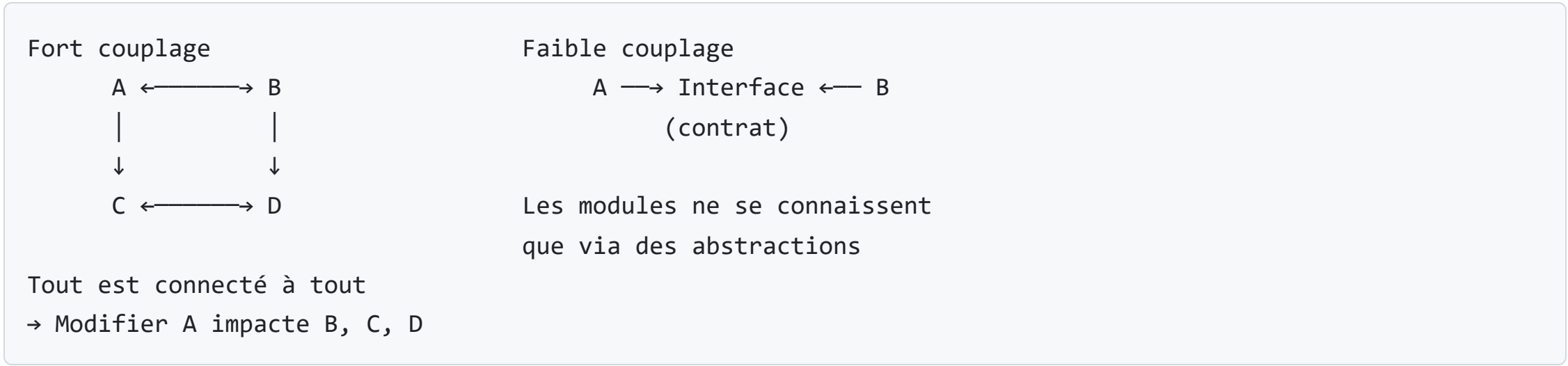
Forte cohésion = bénéfices :

- ✅ Code auto-documenté par sa structure
- ✅ Tests ciblés et simples
- ✅ Évolutions localisées

3.2 Le couplage

> **Moins les modules dépendent les uns des autres, mieux c'est.**

Le couplage mesure à quel point un module est **lié** à d'autres.



3.2 Le couplage — comparaison

❌ Fort couplage	✅ Faible couplage
Code :	**Code :**
`class OrderService:`	`class OrderService:`
`  self.db = MySQLDatabase()`	`  def __init__(self, repo: OrderRepository,`
`  self.mailer = SmtpMailer()`	`  notifier: Notifier):`
	`  self.repo = repo  # Interface`
Problèmes :	**Bénéfices :**
• Impossible de tester sans MySQL/SMTP	• Testable avec fakes
• Changer de DB = réécrire le service	• Changer MySQL → PostgreSQL = 0 impact
• Changer d'email = réécrire	• Changer SMTP → SMS = 0 impact

3.3 Les dépendances

Une **dépendance** = quelque chose dont votre code a besoin pour fonctionner.

Type	Exemples	Risque
Infrastructure	Base de données, système de fichiers	Changement coûteux
Framework	Spring, Django, Symfony	Couplage au cycle de vie du framework
Services externes	API paiement, météo, IA	Indisponibilité, changements d'API
Bibliothèques	PDF, logging, validation	Obsolescence, failles

👉 **Plus votre code dépend directement de ces éléments, plus il est fragile.**

3.4 Séparation des responsabilités

> **Chaque composant doit avoir UNE raison de changer.**

C'est le principe **SRP** (Single Responsibility Principle).

❌ **Classe "God Object"** qui fait tout :

```
class OrderManager:
    def create_order(self): ...
    def validate_payment(self): ...
    def send_confirmation_email(self): ...
    def generate_invoice_pdf(self): ...
    def update_stock(self): ...
    def calculate_shipping(self): ...
    def apply_loyalty_points(self): ...
```

→ 7 raisons de changer cette classe = 7 sources de bugs potentiels à chaque modif.

3.4 Séparation — la bonne approche

✅ Chaque responsabilité isolée :

```
class OrderService:           # Création de commande
class PaymentService:         # Validation paiement
class NotificationService:    # Envoi emails/SMS
class InvoiceGenerator:       # Génération PDF
class StockService:           # Gestion stock
class ShippingCalculator:     # Calcul livraison
class LoyaltyService:         # Points fidélité
```

Avantages :

- Chaque classe est simple et focalisée
- On peut modifier le calcul de livraison sans risquer de casser les emails
- On peut tester chaque responsabilité indépendamment

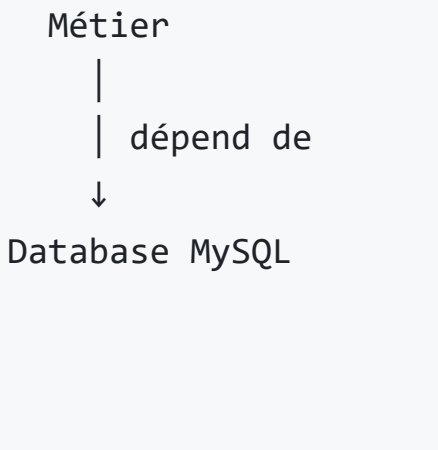
3.5 Inversion de dépendances

> **Les modules de haut niveau ne doivent pas dépendre des modules de bas niveau.**
> **Les deux doivent dépendre d'abstractions.**

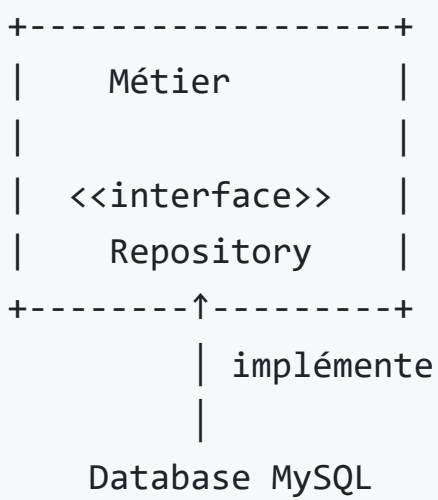
C'est le **D** de SOLID — et c'est **fondamental** pour l'architecture hexagonale.

3.5 Inversion — avant/après

❌ Classique (problème)



✅ Inversé (solution)



3.5 Inversion — conséquences

❌ **Avant (approche classique) :**

- Le code métier dépend directement de `MySQLDatabase`
- Pour tester : il faut installer MySQL, configurer la connexion, créer les tables...
- Pour changer de DB : il faut réécrire tout le code métier qui utilise MySQL
- Le métier est **couplé** à l'infrastructure

✅ **Après (inversion) :**

- Le métier définit `TicketRepository` (interface abstraite)
- Pour tester : on injecte un `FakeRepository` en mémoire → tests rapides et isolés
- Pour changer de DB : on crée un nouvel adaptateur → **zéro impact** sur le métier
- Le métier est **indépendant** de l'infrastructure

  👉 **C'est le cœur de l'architecture hexagonale** (voir partie 4).

3.6 Le rôle des tests dans l'architecture

> **Les tests ne servent pas qu'à détecter les bugs.**
> **Ils révèlent (et forcent) la qualité de votre architecture.**

Code difficile à tester = Code mal architecturé

Si vous devez :

- Instancier 15 dépendances pour tester une fonction → ❌ Trop couplé
- Lancer une DB pour tester une règle métier → ❌ Pas d'inversion de dépendances
- Mocker la moitié de l'application → ❌ Faible cohésion

👉 **Les tests sont un détecteur de problèmes architecturaux.**

3.6 TDD : piloter l'architecture par les tests

TDD (Test-Driven Development) : Écrire le test **AVANT** le code.

```
1. ✍️  Écrire un test qui échoue (Red)
2. ✅  Écrire le code minimal pour passer (Green)
3. ♻️  Refactorer pour améliorer (Refactor)
```

Bénéfices architecturaux :

- Force la testabilité et réduit le couplage
- Impose la cohésion (test complexe = trop de responsabilités)
- Garantit l'inversion (le test définit l'interface)

💡 *TDD ne garantit pas une bonne architecture, mais une mauvaise architecture ne survit pas au TDD.*

🎯 Récapitulatif des principes

Principe	Question à se poser
Cohésion	Cette classe/module a-t-elle une responsabilité claire et unique ?
Couplage	Si je modifie ce module, combien d'autres sont impactés ?
Dépendances	Mon code métier dépend-il directement de la technique ?
Responsabilités	Combien de raisons cette classe a-t-elle de changer ?
Inversion	Qui définit les interfaces : le métier ou la technique ?

💡 **Ces principes guident TOUTES les décisions architecturales.**

🧩 Pause conceptuelle

Récapitulatif rapide :

✅ **5 principes fondamentaux** = outils universels pour évaluer et concevoir du code
✅ **1 objectif commun** = code maintenable, testable, évolutif

❓ **Questions avant de passer à l'architecture hexagonale ?**

> *Prochain sujet : comment ces principes se concrétisent dans une architecture réelle*

🛡️ 4. Architecture hexagonale (Ports & Adapters)

4.1 Le problème à résoudre

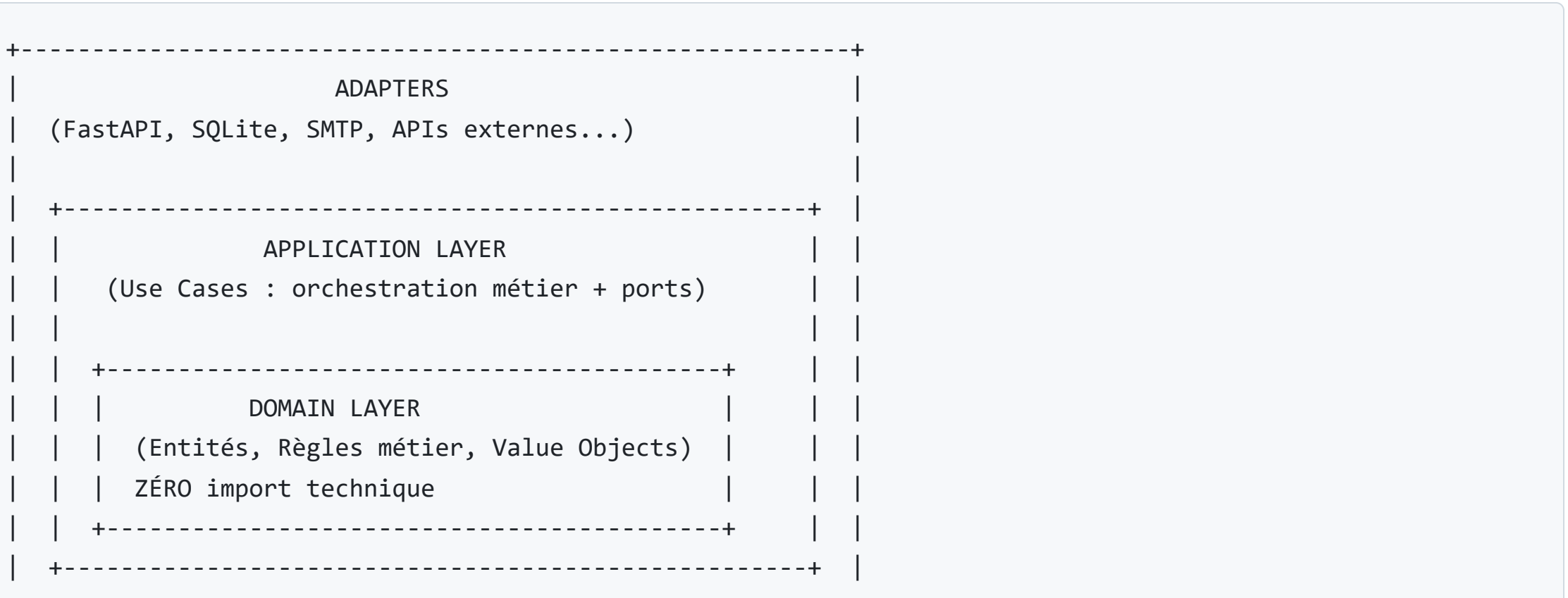
❌ Code "framework-first" typique :

```python
@app.post("/tickets")
def create_ticket(request: Request, db: Session = Depends(get_db)):
    data = request.json()

    # Validation métier dans le controller 😬
    if len(data["title"]) < 3:
        raise HTTPException(400, "Titre trop court")

    # Accès direct à la DB 😬
    ticket = TicketModel(title=data["title"], status="open")
    db.add(ticket)
    db.commit()

    return {"id": ticket.id}
```

4.2 La solution : séparer le métier de la technique

Principe central de l'hexagonale :

> **Le domaine métier au centre, indépendant de toute technique.**
>
> La technique s'adapte au métier, pas l'inverse.



4.3 Les 3 couches (1/3)

🟢 DOMAIN (le cœur)

Contenu :

- Entités (`Ticket`, `User`)
- Règles métier (`ticket.assign_to()`, `ticket.close()`)
- Value Objects (`TicketStatus`, `Email`)

Règle d'or :

> Aucun import de framework ou lib technique (FastAPI, SQLAlchemy, etc.)

4.3 Les 3 couches — exemple DOMAIN (2/3)

```python
# domain/ticket.py
from dataclasses import dataclass
from enum import Enum

class Status(Enum):
    OPEN = "open"
    IN_PROGRESS = "in_progress"
    RESOLVED = "resolved"
    CLOSED = "closed"

@dataclass
class Ticket:
    id: int
    title: str
    status: Status
    assignee_id: int | None = None

    def assign(self, user_id: int) -> None:
        """Règle métier : on ne peut assigner qu'un ticket ouvert."""
        if self.status != Status.OPEN:
            raise ValueError("Impossible d'assigner un ticket non ouvert")
        self.assignee_id = user_id
        self.status = Status.IN_PROGRESS
```

4.3 Les 3 couches — PORTS (3/4)

🔵 PORTS (interfaces)

Des **contrats** (interfaces) définis par le métier :

```python
# ports/ticket_repository.py
from abc import ABC, abstractmethod

class TicketRepository(ABC):
    @abstractmethod
    def save(self, ticket: Ticket) -> None: pass

    @abstractmethod
    def get(self, ticket_id: int) -> Ticket | None: pass

    @abstractmethod
    def list_all(self) -> list[Ticket]: pass
```

👉 Le métier **définit** ce dont il a besoin, sans savoir **comment** c'est implémenté.

4.3 Les 3 couches — APPLICATION (4/5)

🟡 APPLICATION (orchestration)

Use cases qui coordonnent le métier et les ports :

```python
# application/usecases/create_ticket.py
class CreateTicket:
    def __init__(self, ticket_repository: TicketRepository):
        self.repository = ticket_repository

    def execute(self, title: str) -> Ticket:
        ticket = Ticket(id=None, title=title, status=Status.OPEN)
        self.repository.save(ticket)
        return ticket
```

4.3 Les 3 couches — ADAPTERS (5/5)

Implémentations concrètes des ports :

```python
# adapters/db/ticket_repository_inmemory.py
class InMemoryTicketRepository(TicketRepository):
    def __init__(self):
        self.tickets: dict[int, Ticket] = {}
        self.next_id = 1

    def save(self, ticket: Ticket) -> None:
        if ticket.id is None:
            ticket.id = self.next_id
            self.next_id += 1
        self.tickets[ticket.id] = ticket
```

4.4 Pourquoi c'est puissant ?

✅ **Testabilité** :

```
# Test du domaine (ZÉRO dépendance)
def test_cannot_assign_closed_ticket():
    ticket = Ticket(id=1, title="Bug", status=Status.CLOSED)
    with pytest.raises(ValueError):
        ticket.assign(user_id=42)

# Test du use case (InMemory fake)
def test_create_ticket():
    repo = InMemoryTicketRepository()
    use_case = CreateTicket(repo)
    ticket = use_case.execute("Bug critique")
    assert ticket.status == Status.OPEN
```

✅ **Évolutivité** : Passer de InMemory → SQLite → PostgreSQL sans toucher au métier

✅ **Clarté** : Chaque couche a un rôle précis

4.6 Justification pédagogique (1/2)

Question légitime : *Pourquoi l'hexagonale et pas une autre architecture ?*

Réponses :

1. 📚 **Impose structurellement les bons principes**
    - Séparation domaine/infrastructure visible immédiatement
    - Impossible de contourner l'inversion de dépendances
2. ⏱️ **Adaptée au format 20h TD**
    - Ni trop simple (layered classique), ni trop complexe (microservices)
    - Juste assez de contraintes pour apprendre les fondamentaux

4.6 Justification pédagogique (2/2)

3. 🧪 **Naturellement testable** : Tests par couche sans dépendances
    - Domain : pur (0 mock)
    - Use cases : fake repository (pas de vraie DB)
    - E2E : API complète
4. 🌍 **Transférable** : Fondation pour comprendre toutes les archi modernes
    - Clean Architecture, Onion, DDD → mêmes concepts
    - Compatible TDD, microservices, event-driven

> 💡 **Pour aller plus loin :** Voir les annexes pour comparaisons détaillées des architectures et discussion monolithe vs microservices

❓ Questions ou clarifications ?

Avant de passer au projet concret :

- Architecture hexagonale claire ?
- Différence Domain / Ports / Application / Adapters ?
- Inversion de dépendances compréhensible ?

> *Prochain sujet : votre projet fil rouge (système de tickets)*

🎯 5. Le projet : Ticketing System

5.1 Vue d'ensemble (1/2)

Vous allez implémenter un **système de tickets** (simplifié) en architecture hexagonale.

Domaine métier :

- `Ticket` : id, titre, statut, assigné à
- `User` : id, username
- `Status` : OPEN, IN_PROGRESS, RESOLVED, CLOSED

5.1 Vue d'ensemble (2/2)

Use cases :

- Créer un ticket
- Assigner un ticket à un utilisateur
- Changer le statut d'un ticket
- Récupérer un ticket / liste de tickets

Adapters :

- Persistance : InMemory → SQLite
- API : FastAPI (REST)

5.2 Progression des TDs

TD	Objectif	Couche
TD0	Setup environnement, workflow Git	-
TD1	Modéliser le domaine (`Ticket` , `User` , `Status`)	Domain
TD2	Créer les use cases et ports	Application + Ports
TD3	Implémenter le repository SQLite	Adapters (DB)
TD4	Exposer l'API REST	Adapters (API)

5.3 Évaluation

📊 **Composantes** :

- Travail en TD (TD1-TD4) - Soumission via GitHub + auto-validation
- QCM final - 30-45 mn en dernière séance
- Bonus présentiel - Travail soumis pendant séances TD valorisé

⚠️ **Important** :

- L'IA est **autorisée** pour le projet
- Mais **comprendre** l'architecture reste indispensable pour le QCM
- Le travail effectué en présentiel (sans IA intensive) est valorisé

📖 Détails complets : `td/evaluation.md`

Barèmes détaillés communiqués en début de module.

5.4 Ressources

📦 **Template de code du projet Ticketing** :

https://github.com/Marcennaji/ticketing_starter

📚 **Documentation TDs** :

https://github.com/Marcennaji/architecture-logicielle-BUT2-ressources

🔧 **Technologies** :

- Python 3.11+
- FastAPI (web framework)
- SQLite (base de données, module `sqlite3` intégré)
- pytest (tests)

🚀 **Prérequis** : Guide de démarrage à suivre **AVANT le TD0**

🎯 Récapitulatif & prochaines étapes

Vous avez maintenant :

✅ Compris **pourquoi** l'architecture est essentielle (encore plus avec l'IA)
✅ Découvert les **5 principes fondamentaux**
✅ Découvert l'**architecture hexagonale** (Domain, Ports, Application, Adapters)
✅ Une vision du **projet ticketing**

🚀 **Prochaine étape :** TD0 (prise en main environnement + workflow)

📚 **Ressources complémentaires :**

- Annexes : Guide de lecture + 3 annexes thématiques
- Articles : Architecture Hexagonale (OCTO)
- Toutes les ressources : https://github.com/Marcennaji/architecture-logicielle-BUT2-ressources

? Questions ?