

## ÉVALUATION STRUCTURELLE

Indice de Risque Structurel (IRS)  
+ Indice de Vétusté (IV)

v.A3 — Rapport de diagnostic technique

IRS — RISQUE STRUCTUREL

**54**

ÉLEVÉ

SEMD = 54 · SGMP = 19.2

IV — VÉTUSTÉ GLOBALE

**45.6 %**

MOYEN

IV brut = 43.4 % · K = 1.05

**Bâtiment :** nn rue xx, 13100 Aix-en-Provence

**Type :** Immeuble de rapport — XVIIe siècle — 4 niveaux

**Référence :** 2602P011

**Visite :** 03/02/2026 **Ingénieur :** Olivier TURLIER


**Version :** A3 **Date :** 28/04/2026

## Tableau des révisions

### Suivi des versions<sup>1</sup>

Version	État	Date	Auteur	Modifications
A0	PREL	01/01/2026	OLT	Édition initiale
A1	PREL	22/01/2026	OLT	Modification calcul IRS + IV – ajustement recommandations
A2	BPE	22/02/2026	OLT	Ajout annexes
<b>A3</b>	<b>BPE</b>	<b>28/04/2026</b>	<b>OLT</b>	Anonymisation – version exemple pédagogique

### Circuit de validation<sup>2</sup>

Version courante :		<b>A3.BPE du 03/02/2026 par OLT</b>		
Nom	Initiales	Rôle	Signature	
Olivier TURLIER	<b>OLT</b>	Ingénieur structure - auteur du rapport : calculs, analyses et recommandations		

#### Note – Document pédagogique et anonymisé

Ce rapport est un **modèle théorique** élaboré à partir d'un cas réel, **anonymisé** à des fins pédagogiques : les données d'identification (adresse, propriétaire, références cadastrales) ont été supprimées ou généralisées. Les valeurs IRS et IV, les constats et les recommandations restent représentatifs d'une situation courante rencontrée dans le parc immobilier ancien.

Les **termes techniques** employés dans ce document (IRS, SEMD, SGMP, IV, coefficient K...) sont définis dans le [Glossaire](#). La **méthodologie de calcul** des deux indices est détaillée dans les annexes : [Méthodologie IRS](#) et [Méthodologie IV](#).

<sup>1</sup>Liste des versions précédentes et de la version courante du rapport, avec description des modifications. **PREL** = version PRÉliminaire, en attente de validation, **BPE** = version Bon Pour Exécution, validée par tous, applicable.

<sup>2</sup>Application du plan qualité interne de Re grain – validation du fond par un vérificateur, contrôle de la forme par un contrôleur, avec signatures numériques

## Table des matières

<b>1. Introduction</b>	<b>4</b>
<b>2. Synthèse</b>	<b>4</b>
<b>3. Évaluation Indice de Risque Structurel « IRS »</b>	<b>4</b>
3.1. Tableau détaillé des éléments	5
3.2. Graphiques IRS	5
<b>4. Évaluation Indice de Vétusté (économique) « IV »</b>	<b>8</b>
4.1. Détail par poste	8
<b>5. Analyse économique</b>	<b>9</b>
<b>6. Recommandations hiérarchisées</b>	<b>9</b>
6.1. Priorités de rénovation indice «IRS»	9
6.2. Priorités de rénovation indice «IV»	10
<b>A. Annexes</b>	<b>11</b>
<b>A.1. Méthode de calcul indice « IRS »</b>	<b>11</b>
A.1.1. Facteur D — Dégradation	11
A.1.2. Facteur C — Condition des appuis	12
A.1.3. Facteur S — Sévérité structurelle	12
A.1.4. Synthèse : SEMD, SGMP et IRS final	13
A.1.5. Tableau détaillé des calculs IRS	13
<b>A.2. Méthode de calcul de l'indice « IV »</b>	<b>14</b>
A.2.1. Principe : la méthode de la valeur résiduelle	14
A.2.2. Décomposition par poste : l'IV comme taux de dépréciation global	14
A.2.3. Échelle de vétusté par poste	15
A.2.4. Coefficient K — Qualité d'entretien	15
A.2.5. Niveaux IV — interprétation globale	15
A.2.6. Tableau récapitulatif des calculs IV	16
<b>A.3. Référence de prix pour l'analyse économique dans l'indice « IV »</b>	<b>17</b>
A.3.1. Coût théorique — indice BT01 (borne inférieure)	17
A.3.2. Prix de marché — transactions DVF	17
A.3.3. Transactions de référence (15 plus récentes)	18
A.3.4. Prix de reconstruction « expert »	18
A.3.5. Synthèse — Progression des références de prix	19
<b>A.4. Processus d'édition de ce rapport</b>	<b>19</b>
A.4.1. Collecte des données	20
A.4.2. Rédaction du rapport	24
A.4.3. Structure type d'un dossier	24
A.4.4. Script d'édition du rapport	25
A.4.5. Script de récupération des prix de marché DVF	26
A.4.6. Orchestration avec just	26
<b>A.5. Glossaire des termes et abréviations</b>	<b>29</b>

## 1. Introduction

Ce rapport présente les résultats de l'évaluation structurelle du bâtiment situé au nn rue xx — 13100 Aix-en-Provence. Il s'appuie sur deux indices complémentaires — l'Indice de Risque Structurel (IRS) et l'Indice de Vétusté (IV) — pour fournir une synthèse chiffrée des risques structurels et de l'état de conservation économique du bâti, assortie de recommandations d'intervention hiérarchisées.

Contrairement à un diagnostic de structure classique, l'approche IRS+IV ne se limite pas à décrire les désordres observés : elle les quantifie selon une grille reproductible, en intégrant à la fois la sévérité des pathologies actuelles (IRS) et la perte de valeur liée au vieillissement du bâti (IV). Cette double lecture permet d'orienter les décisions de maintenance et de rénovation sur une base objective et traçable.

Ces deux indices ouvrent également la voie à des analyses comparatives : ils permettent de classer et de prioriser plusieurs bâtiments diagnostiqués, ou d'identifier les plus critiques au sein d'un parc immobilier, en s'appuyant sur des critères homogènes d'âge, de typologie et d'usage.

## 2. Synthèse

Les résultats de cette évaluation sont présentés ci-dessous, avec les recommandations associées. Les détails de calculs et d'analyse sont développés dans les sections suivantes du rapport.

### Indice de Risque Structurel (IRS)<sup>3</sup>

- **SEMD** (score max) : **54**  
— Voile béton cave — mur porteur Nord
- **SGMP** (pondéré) : **19.2**
- **IRS final** = max(SEMD, SGMP) = **54**
- Niveau : **ÉLEVÉ**

Intervention programmée < 6 mois.

### Indice de Vétusté (IV) — Valeur résiduelle<sup>4</sup>

- **IV brut** : 43.4 % (avant correction K)
- **Coeff. K** entretien : 1.05
- **IV corrigé** : **45.6 %**
  
- Coût reconstruction : 1232 k€
- Perte de valeur : 562 k€
- **Valeur résiduelle** : **670 k€**
- Budget rénovation : 393 k€

## 3. Évaluation Indice de Risque Structurel « IRS »

Cette section détaille le calcul de l'IRS pour chaque élément structurel, à partir des observations de visite et des contre-calculs de portance résiduelle (rapport P'/P). Chaque élément est évalué selon les trois facteurs D (dégradation), C (condition des appuis) et S (sévérité structurelle) ; le tableau et les graphiques ci-dessous présentent les valeurs intermédiaires, le score IRS par élément et le profil de risque global.

<sup>3</sup>La méthode de calcul de l'indice IRS est détaillée en Chapitre A.1., page 11.

<sup>4</sup>La méthode de calcul de l'indice IV est détaillée en Chapitre A.2., page 14.

## 3.1. Tableau détaillé des éléments

Le tableau ci-dessous liste l'ensemble des éléments structurels inspectés, avec pour chacun les valeurs intermédiaires de calcul (D, C, S) et l'IRS résultant, classés par ordre décroissant de score.

Élément	D final	P'/P	C	S	IRS	Niveau
Voile béton cave — mur porteur Nord	6	0.75	3	3	<b>54</b>	ÉLEVÉ
Poteau principal cave — angle Sud-Est <small>mod_S = 1,5 car supporte 4 niveaux</small>	2	0.85	2	4.5	<b>18</b>	MODÉRÉ
Poutre maîtresse cave <small>P'/P non calculé → C = 1,5 par défaut conservateur</small>	1	—	1.5	2	<b>3</b>	FAIBLE
Plancher RDC — zone centrale	2	0.9	2	2	<b>8</b>	FAIBLE
Poteau RDC — façade principale <small>mod_S = 1,5 car supporte 3 niveaux</small>	2	—	1.5	4.5	<b>13.5</b>	MODÉRÉ
Poutre principale RDC — portée 6 m	2	0.9	2	2	<b>8</b>	FAIBLE
Mur porteur RDC — refend central <small>P'/P non calculé → C = 1,5 par défaut</small>	4	—	1.5	3	<b>18</b>	MODÉRÉ
Balcon R+1 — console porte-à-faux <small>mod_S = 1,3 (porte-à-faux) — P'/P = 0,70 → C = 3,0</small>	6	0.7	3	1.3	<b>23.4</b>	MODÉRÉ
<b>SEMD = 54 (élément le plus défavorable)    SGMP = 19.2 (score moyen pondéré)</b>					<b>54</b>	ÉLEVÉ

$IRS = D_{final} \times C \times S_{final}$  //  $D_{final} = D_{base} \times (\times 1,5 \text{ si évolutif}) \times (\times 1,2 \text{ si généralisé})$  //  $C = f(P'/P) : \geq 1,2 \rightarrow 1,0 / 1,0-1,2 \rightarrow 1,5 / 0,8-1,0 \rightarrow 2,0 / 0,6-0,8 \rightarrow 3,0 / < 0,6 \rightarrow 5,0$  //  $C = 1,5$  si P'/P non calculé

## 3.2. Graphiques IRS

Les deux représentations ci-dessous offrent une lecture visuelle complémentaire du profil de risque. L'histogramme ordonne les éléments par score décroissant pour identifier rapidement les points critiques ; le radar révèle la distribution du risque sur l'ensemble de la structure et met en évidence d'éventuels déséquilibres entre zones.

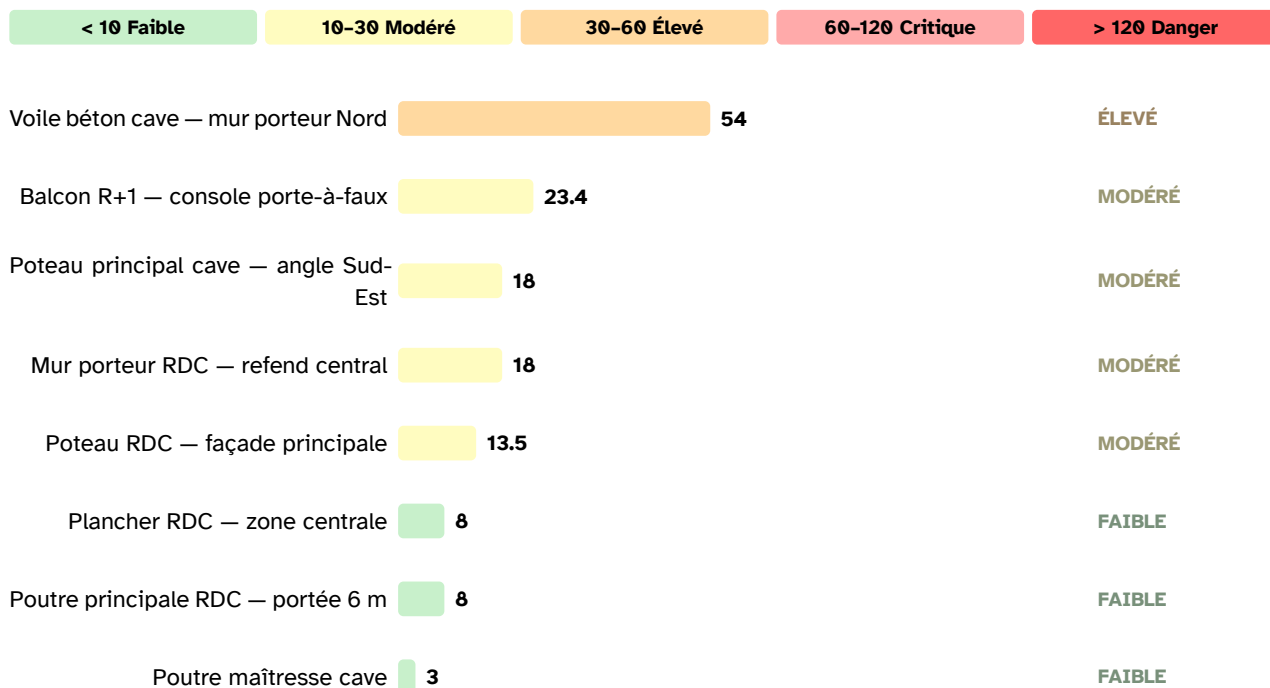
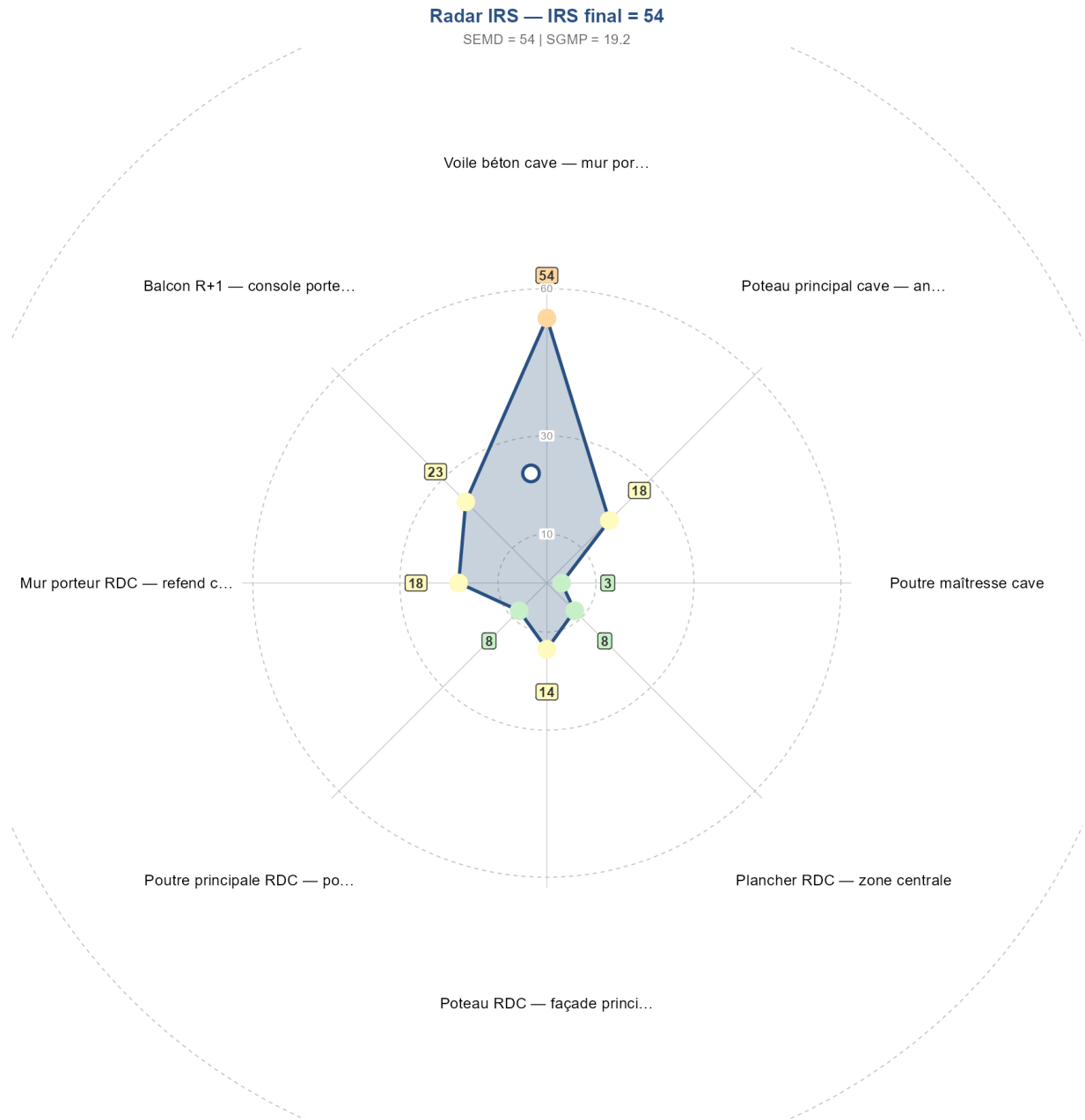


Tableau 1. – **IRS par composant — vue en histogramme**

Classement par IRS décroissant. Chaque barre représente un élément structurel, avec une longueur proportionnelle à son IRS et une couleur indiquant son niveau de risque (du vert pour les éléments en bon état au rouge pour les éléments critiques).

Les étiquettes à droite précisent le score IRS de chaque élément, tandis que les étiquettes à gauche indiquent le nom de l'élément (abrégé si nécessaire)



**Fig. 1. – IRS par composant — vue radar**

Chaque axe correspond à un élément structurel évalué ; la distance au centre représente la valeur de l'IRS de cet élément (plus un point est loin du centre, plus le risque est élevé).

Lorsque le polygone présente une **pointe aiguë** en direction d'un élément, cela signifie que cet élément concentre l'essentiel du risque structurel. À l'inverse, un polygone régulier indiquerait une dégradation homogène répartie sur l'ensemble de la structure.

L'avantage du radar sur un histogramme est de révéler le **centre de gravité** «○» du risque IRS : le centroïde pondéré par l'IRS de chaque composant se déplace vers les éléments dominants, donnant une lecture spatiale immédiate de l'équilibre — ou du déséquilibre — de la dégradation structurelle.

## 4. Évaluation Indice de Vétusté (économique) « IV »

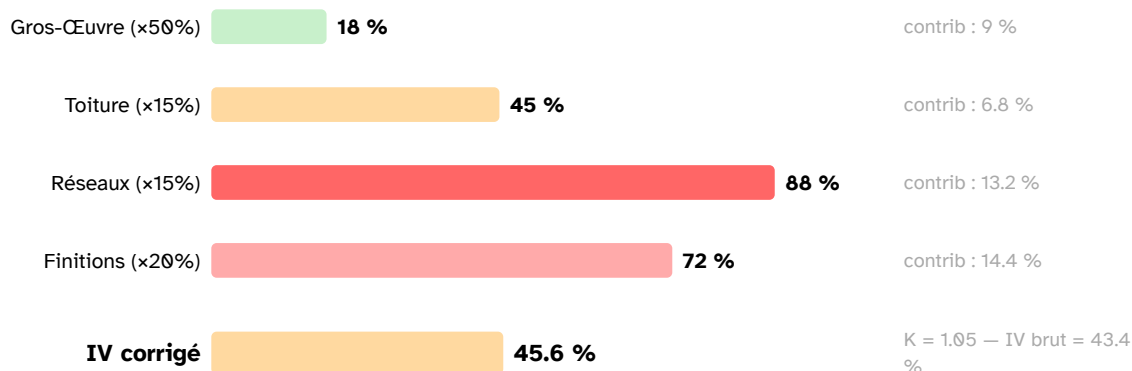
L'Indice de Vétusté quantifie la perte de valeur économique du bâtiment en décomposant son état de conservation en quatre postes fonctionnels — Gros-Œuvre, Toiture, Réseaux et Finitions — pondérés selon leur importance dans le coût de reconstruction. L'IV brut ainsi obtenu est ensuite corrigé par le coefficient K, qui reflète la qualité de l'entretien, pour aboutir à l'indice de vétusté corrigé et à l'estimation de la valeur résiduelle du bien.

### 4.1. Détail par poste

Le tableau ci-dessous détaille la vétusté observée pour chacun des quatre postes, sa contribution pondérée à l'IV brut et une interprétation qualitative. Les barres de progression qui suivent offrent une lecture visuelle synthétique de ces mêmes données.

Méthode Valeur Résiduelle — Gros-Œuvre 50 % + Toiture 15 % + Réseaux 15 % + Finitions 20 %

Poste	Vétusté	Poids	Contribution	Interprétation
Gros-Œuvre (fondations, murs porteurs, planchers struct.)	18 %	50 %	9 %	Pierre/béton sain — longue durée résiduelle
Toiture (couverture, charpente, zinguerie, étanchéité)	45 %	15 %	6.8 %	Entretien nécessaire à court terme
Réseaux (électricité, plomberie, chauffage, VMC)	88 %	15 %	13.2 %	Refonte complète nécessaire — risque sécuritaire
Finitions (menuiseries, revêtements, peintures, cloisons)	72 %	20 %	14.4 %	Rénovation complète à planifier
<b>IV brut</b> (pondération économique)				<b>43.4 %</b>
<b>Coeff. K</b> entretien = 1.05				
<b>IV corrigé</b>				<b>45.6 %</b>



## 5. Analyse économique

Sur la base de l'IV corrigé et du coût unitaire de reconstruction renseigné dans la fiche bâtiment, les trois indicateurs ci-dessous synthétisent la situation patrimoniale du bâtiment : valeur à neuf, valeur résiduelle et budget de rénovation estimé.



## 6. Recommandations hiérarchisées

Les recommandations sont établies en deux volets complémentaires. Le premier, issu de l'IRS, priorise les interventions structurelles selon l'urgence sécuritaire. Le second, issu de l'IV, ordonne les travaux de rénovation selon les postes les plus dégradés économiquement. Dans chaque volet, les éléments sont classés par ordre décroissant d'urgence.

### 6.1. Priorités de rénovation indice «IRS»

#### ÉLEVÉ — Intervention < 6 mois

- **Voile béton cave — mur porteur Nord** — IRS = 54 — Surveillance mensuelle + devis travaux.

#### MODÉRÉ — Surveillance renforcée

- **Poteau principal cave — angle Sud-Est** — IRS = 18 — Inspection annuelle, témoins de fissures.
- **Poteau RDC — façade principale** — IRS = 13.5 — Inspection annuelle, témoins de fissures.
- **Mur porteur RDC — refend central** — IRS = 18 — Inspection annuelle, témoins de fissures.
- **Balcon R+1 — console porte-à-faux** — IRS = 23.4 — Inspection annuelle, témoins de fissures.

## 6.2. Priorités de rénovation indice «IV»

Indépendamment de l'urgence structurelle, l'IV identifie les postes dont la vétusté justifie une rénovation à moyen terme. Ces travaux, bien que non sécuritaires dans l'immédiat, conditionnent la valeur résiduelle du bâtiment et le coût global à terme.

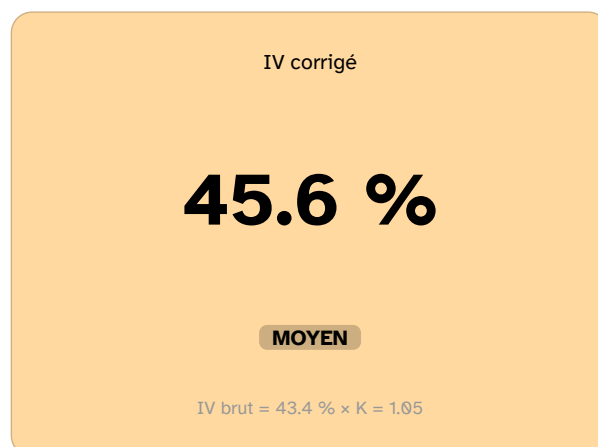
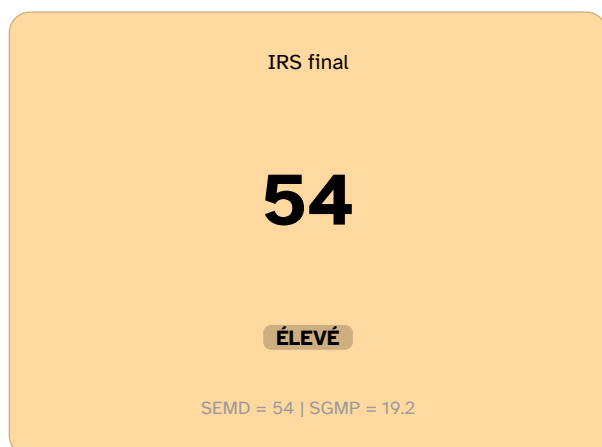
### Priorités de rénovation par poste

1. **Réseaux (88 %)** — Urgence sécuritaire : refonte électricité, remplacement plomb, création VMC.
2. **Finitions (72 %)** — Menuiseries et revêtements à rénover (confort + performance énergétique).

Le tableau suivant récapitule les catégories d'intervention identifiées et les ordres de grandeur budgétaires associés, en distinguant les mesures conservatoires immédiates des travaux de rénovation planifiables.

Catégorie d'intervention	Montant estimé
Mesures conservatoires immédiates (IRS $\geq$ 120)	à chiffrer
Interventions urgentes < 1 mois (IRS 60-120)	devis d'urgence
Interventions court terme < 6 mois (IRS 30-60)	études + travaux
Rénovation IV — réseaux, finitions, toiture	393 k€
<b>Total indicatif travaux</b>	<b>Devis contradictoires recommandés</b>

Ces estimations sont à affiner par des devis contradictoires. Les scores IRS et IV ci-dessous résument en une lecture synthétique l'état structurel et économique du bâtiment.



Évaluation IRS + IV v.A3 — Diagnostic réalisé le 28/04/2026  
Référence : 2602P011 — Ingénieur : Olivier TURLIER

IRS : méthode développée pour la hiérarchisation objective des risques structurels (non réglementaire).  
IV : méthode valeur résiduelle — pondération économique par poste.  
Document confidentiel — reproduction interdite sans accord du BET Regrain.

## A. Annexes

Les annexes ci-dessous permettent de documenter en détail les méthodes de calcul utilisées pour l'Indice de Risque Structurel (IRS) et l'Indice de Vétusté (IV), ainsi que les références de prix mobilisées pour l'analyse économique (de la [Méthodologie IRS](#) à la [Référence de prix](#)). Ces éléments techniques sont décrits en détail pour assurer la transparence et la reproductibilité des évaluations réalisées dans ce projet.

Le processus d'édition de ce rapport est ensuite documenté dans l'annexe [Processus d'édition](#), avec un focus sur les outils numériques utilisés pour la saisie des données et le calcul automatisé des indicateurs IRS et IV.

### A.1. Méthode de calcul indice « IRS »

L'**Indice de Risque Structurel (IRS)** quantifie objectivement la sévérité de chaque désordre observé sur les éléments porteurs d'un bâtiment. Il combine trois facteurs indépendants :

$$IRS_{\text{élément}} = D_{\text{final}} \times C \times S_{\text{final}}$$

Facteur	Rôle dans la formule
<b>D – Dégradation</b>	Mesure l'intensité du désordre observé sur une échelle géométrique {1, 2, 4, 8, 16}, majoré selon son caractère évolutif ou généralisé.
<b>C – Condition des appuis</b>	Pénalise la perte de capacité portante résiduelle (P'/P). Varie de 1.0 (capacité intacte) à 5.0 (forte réduction).
<b>S – Sévérité structurelle</b>	Reflète le rôle de l'élément dans la stabilité globale. Varie de 0.5 (élément secondaire) à 3.0 (élément critique).

#### A.1.1. Facteur D – Dégradation

**Cotation D<sub>0</sub>** lors de la visite – échelle géométrique à 5 niveaux (doublement à chaque palier) :

D <sub>0</sub>	Niveau	Description du désordre observé
1	Bon état	Désordres absents ou négligeables – aucune action requise
2	Acceptable	Désordres bénins : fissuration capillaire, légère déformation – surveillance annuelle
4	Dégradé	Désordres modérés : fissuration active, déformation notable – surveillance rapprochée
8	Critique	Désordres importants : fissuration large ou déformation prononcée – intervention à planifier
16	Ruine imminente	Risque d'effondrement – étalement d'urgence et interdiction d'accès

**Modificateurs applicables à D<sub>0</sub> :**

Condition	Facteur	Critère de qualification
Évolutif	× 1.5	Désordre en progression mesurable : fissure active, déformation croissante, humidité ascendante
Généralisé	× 1.2	Désordre étendu à la majorité de l'élément ou répété sur plusieurs éléments identiques
Évolutif + Généralisé	× 1.8	Les deux modificateurs se cumulent multiplicativement

$$D_0 \in \{1, 2, 4, 8, 16\} \rightarrow D_{\text{final}} = D_0 \times m_{\text{év}} \times m_{\text{gé}}$$

avec  $m_{\text{év}} \in \{1.0 ; 1.5\}$  et  $m_{\text{gé}} \in \{1.0 ; 1.2\}$  selon les modificateurs ci-dessus

## A.1.2. Facteur C – Condition des appuis

C est déterminé par le rapport  $P'/P$ , où **P** est la portance originale estimée et **P'** la portance résiduelle évaluée. Un rapport  $P'/P$  faible indique une perte de capacité portante et conduit à une forte pénalisation :

P'/P	C	Interprétation
≥ 1.2	1.0	Capacité portante intacte ou renforcée – pas de pénalisation
1.0 – 1.2	1.5	Capacité nominale – cas de référence
0.8 – 1.0	2.0	Légère réduction de capacité – surveillance accrue
0.6 – 0.8	3.0	Réduction modérée – vigilance requise, investigations à engager
< 0.6	5.0	Forte réduction de capacité – intervention urgente
N/A	1.5	Portances non estimées – valeur forfaitaire conservatrice

## A.1.3. Facteur S – Sévérité structurelle

$S_0$  reflète le rôle de l'élément dans la stabilité globale du bâtiment :

$S_0$	Type d'élément structurel
0.5	Cloison non porteuse, bardage, habillage – aucune fonction portante
1.0	Élément secondaire peu chargé : linteau simple, escalier non structurel
1.5	Paroi de remplissage, cloison porteuse légère
2.0	Poteau, poutre, mur porteur secondaire – rôle portant local
2.5	Plancher, toiture, mur porteur principal – rôle portant régional
3.0	Fondations, noyau central, murs porteurs principaux – rôle portant global

$mod_S$  est un coefficient multiplicateur (par défaut 1.0) permettant d'ajuster S selon le contexte spécifique de l'élément (porte-à-faux, zone de forte concentration de charges, cumul de désordres sur un même nœud structurel).

$$S_{\text{final}} = S_0 \times m_S$$

## A.1.4. Synthèse : SEMD, SGMP et IRS final

Une fois l'IRS calculé pour chaque élément, deux indicateurs globaux sont dérivés :

Indicateur	Formule	Signification
SEMD	$\max_i(IRS_i)$	Sévérité de l'Élément le plus Mal Dimensionné — capte le risque ponctuel maximal
SGMP	$\frac{\sum_i IRS_i \cdot p_i}{\sum_i p_i}$	Score Global Moyen Pondéré — représente le risque diffus de l'ensemble du bâtiment
IRS final	$\max(SEMD, SGMP)$	Valeur retenue pour la classification globale du bâtiment

### Niveaux de risque IRS :

IRS	Niveau	Action recommandée
< 10	<b>FAIBLE</b>	Surveillance annuelle — aucune action immédiate requise
10 – 30	<b>MODÉRÉ</b>	Surveillance renforcée — témoins de fissures, inspection bisannuelle
30 – 60	<b>ÉLEVÉ</b>	Intervention planifiée dans les 6 mois — études et devis travaux
60 – 120	<b>CRITIQUE</b>	Intervention urgente dans le mois — expertise approfondie, limitation de charges
≥ 120	<b>DANGER</b>	Action immédiate — étaieement, interdiction d'accès, notification propriétaire

## A.1.5. Tableau détaillé des calculs IRS

Ce tableau présente l'intégralité des données saisies et des valeurs calculées pour chaque élément structurel évalué lors de la visite.

Élément	Niv.	D <sub>0</sub>	Év	Gé	D	P	P'	P'/P	C	S <sub>0</sub>	xS	S	IRS
Voile béton cave — mur porteur Nord	Cave	4	oui	—	6	100	75	0.75	3	3	1	3	54
Poteau principal cave — angle Sud-Est	Cave	2	—	—	2	100	85	0.85	2	3	1.5	4.5	18
Poutre maîtresse cave	Cave	1	—	—	1	—	—	—	1.5	2	1	2	3
Plancher RDC — zone centrale	RDC	2	—	—	2	100	90	0.9	2	2	1	2	8
Poteau RDC — façade principale	RDC	2	—	—	2	—	—	—	1.5	3	1.5	4.5	13.5
Poutre principale RDC — portée 6 m	RDC	2	—	—	2	100	90	0.9	2	2	1	2	8
Mur porteur RDC — refend central	RDC	4	—	—	4	—	—	—	1.5	3	1	3	18
Balcon R+1 — console porte-à-faux	R+1	4	oui	—	6	100	70	0.7	3	1	1.3	1.3	23.4

Tableau 2. – **Détail des calculs IRS**

Chaque ligne correspond à un élément structurel évalué, avec les données de base (D<sub>0</sub>, évolutif, généralisé, P'/P) et les résultats intermédiaires (D final, C, S final) menant au calcul de l'IRS. Les éléments sont classés par ordre décroissant d'IRS pour mettre en évidence les points critiques. Les cellules de la colonne IRS sont colorées selon le niveau de risque pour une lecture visuelle immédiate.

## A.2. Méthode de calcul de l'indice « IV »

### A.2.1. Principe : la méthode de la valeur résiduelle

La **méthode de la valeur résiduelle** est une technique d'estimation immobilière reconnue, utilisée par les experts judiciaires, les notaires et les assureurs pour évaluer la valeur actuelle d'un bâtiment existant à partir de son coût de reconstruction à neuf, diminué d'un abattement pour vétusté. Elle repose sur le postulat que la valeur d'un bien immobilier est fonction de l'état de conservation de ses composants :

$$V_{\text{résiduelle}} = V_{\text{reconstruction}} \times \left( 1 - \frac{IV}{100} \right)$$

où :

- $V_{\text{reconstruction}}$  est le coût de reconstruction du bâtiment à l'identique aujourd'hui (main d'œuvre et matériaux aux prix courants), souvent estimé à partir de ratios au m<sup>2</sup> selon le type constructif ;
- IV est l'indice de vétusté, exprimé en pourcentage, qui représente la fraction de valeur perdue par rapport à l'état neuf.

Un bâtiment neuf a un IV de 0 % : sa valeur résiduelle est égale à sa valeur de reconstruction. Un bâtiment totalement hors service aurait un IV de 100 % : sa valeur résiduelle serait nulle (hors valeur du terrain et des éléments récupérables). En pratique, l'IV d'un bâtiment courant se situe entre 20 % et 60 % selon son âge et son état d'entretien.

**Distinction avec la valeur vénale.** La valeur résiduelle au sens de cette méthode est une valeur **physique** (état intrinsèque du bâti), distincte de la valeur vénale de marché qui intègre en outre la localisation, l'offre et la demande, le régime locatif et d'autres facteurs extrinsèques. Elle constitue un plancher technique d'évaluation indépendant des conditions de marché.

### A.2.2. Décomposition par poste : l'IV comme taux de dépréciation global

La difficulté pratique de la méthode réside dans l'estimation du taux de vétusté global. Un bâtiment est un assemblage de composants aux durées de vie très différentes — le gros-œuvre peut durer 150 ans tandis que les réseaux sont à remplacer tous les 30-40 ans. Appliquer un taux unique reviendrait à ignorer cette hétérogénéité.

La méthode retenue ici décompose la vétusté en **quatre postes fonctionnels**, chacun noté indépendamment et pondéré selon son poids dans le coût de reconstruction total :

L'**Indice de Vétusté (IV)** mesure la perte de valeur économique d'un bâtiment due à l'usure et au vieillissement de ses composants. Il combine quatre postes pondérés selon leur importance patrimoniale, puis est corrigé par un coefficient d'entretien :

$$IV_{\text{brut}} = GO \times 50\% + \text{Toiture} \times 15\% + \text{Réseaux} \times 15\% + \text{Finitions} \times 20\%$$

$$IV_{\text{corrigé}} = \min(100, IV_{\text{brut}} \times K)$$

Composante	Poids	Périmètre
<b>Gros-Œuvre (GO)</b>	50 %	Fondations, murs porteurs, planchers structurels — ossature permanente du bâtiment

Composante	Poids	Périmètre
Toiture	15 %	Couverture, charpente, zinguerie, étanchéité
Réseaux	15 %	Électricité, plomberie, chauffage, VMC
Finitions	20 %	Menuiseries, revêtements, peintures, cloisons
Coeff. K	x	Correcteur d'entretien — amplifie ou atténue l'IV brut selon la qualité de la maintenance

### A.2.3. Échelle de vétusté par poste

Chaque poste est noté de **0.0** (état neuf) à **1.0** (hors service). L'équivalent en pourcentage est utilisé dans les calculs :

Vétusté (%)	Niveau	État observé
0 - 20 %	BON	Composant en bon état — aucune intervention nécessaire, entretien courant suffisant
20 - 40 %	ACCEPTABLE	Usure normale — surveillance, entretien préventif à maintenir
40 - 60 %	MOYEN	Vieillesse visible — interventions ponctuelles à planifier dans les 2-3 ans
60 - 80 %	DÉGRADÉ	Dégradation avancée — travaux de rénovation à engager rapidement
80 - 100 %	VÉTUSTE	Composant en fin de vie — remplacement ou réfection complète à prévoir en urgence

### A.2.4. Coefficient K — Qualité d'entretien

Le coefficient K reflète la qualité de la maintenance préventive du bâtiment. Un entretien insuffisant aggrave la perte de valeur ( $K > 1.0$ ) ; un entretien exemplaire l'atténue légèrement ( $K < 1.0$ ) :

K	Qualité d'entretien	Critères caractéristiques
0.8	Excellent	Maintenance préventive systématique, carnet d'entretien tenu, travaux anticipés
0.9	Bon	Entretien régulier, réparations promptes, peu de retard sur les interventions
1.0	Correct	Entretien courant réalisé, quelques retards ponctuels
1.2	Médiocre	Entretien différé, interventions uniquement correctives, accumulation de petits désordres
1.4	Mauvais	Absence de maintenance, dégradations multiples non traitées, risque de sinistre

### A.2.5. Niveaux IV — interprétation globale

L'**IV corrigé** classe le bâtiment sur cinq niveaux :

IV corrigé	Niveau	Interprétation et action
< 20 %	<b>BON</b>	Bâtiment bien entretenu — valeur résiduelle élevée, budget rénovation faible
20 - 40 %	<b>ACCEPTABLE</b>	Vieillesse normale — entretien courant à maintenir, quelques postes à surveiller
40 - 60 %	<b>MOYEN</b>	Usure significative — planifier un programme de rénovation à moyen terme
60 - 80 %	<b>DÉGRADÉ</b>	Vétusté avancée — rénovation substantielle nécessaire, impact fort sur la valeur vénale
≥ 80 %	<b>VÉTUSTE</b>	Bâtiment très dégradé — coût de rénovation proche ou supérieur à la valeur résiduelle

## A.2.6. Tableau récapitulatif des calculs IV

Ce tableau présente les valeurs saisies pour chaque poste de vétusté, les contributions pondérées et la synthèse menant à l'IV final.

Poste	Poids	Vétusté	Contribution	Niveau
Gros-Œuvre (fondations, murs porteurs, planchers struct.)	50 %	<b>18 %</b>	9 %	BON
Toiture (couverture, charpente, zinguerie, étanchéité)	15 %	<b>45 %</b>	6.8 %	MOYEN
Réseaux (électricité, plomberie, chauffage, VMC)	15 %	<b>88 %</b>	13.2 %	VÉTUSTE
Finitions (menuiseries, revêtements, peintures, cloisons)	20 %	<b>72 %</b>	14.4 %	DÉGRADÉ
<b>IV brut</b> (pondération économique)			<b>43.4 %</b>	MOYEN
<b>Coefficient K</b> — qualité d'entretien				<b>1.05</b>
<b>IV corrigé</b> = min(100 %, IV brut × K)			<b>45.6 %</b>	<b>MOYEN</b>

Tableau 3. - **Détail des calculs IV**

Vétusté saisie par poste (0.0 à 1.0), contribution pondérée au résultat global, et synthèse. L'IV corrigé est obtenu en appliquant le coefficient K d'entretien à l'IV brut (plafonné à 100 %).

## A.3. Référence de prix pour l'analyse économique dans l'indice « IV »

La valeur unitaire de reconstruction utilisée dans l'analyse économique est **3850 €/m<sup>2</sup>** (saisie dans la fiche bâtiment). Cette annexe documente les trois niveaux de référence mobilisés pour établir ou valider cette valeur, du plus théorique au plus ancré dans le marché local.

### A.3.1. Coût théorique — indice BT01 (borne inférieure)

#### ⚠ Avertissement — BT01 : référence neuf standard uniquement

L'indice BT01 mesure le coût de construction d'un **bâtiment résidentiel collectif neuf, standard, hors contrainte**. Il constitue une **borne inférieure théorique** — non un coût de reconstruction réel pour un bâtiment ancien.

Pour un immeuble en **centre historique ou médiéval** (pierres de taille, charpentes traditionnelles, contraintes ABF, logistique en site contraint...), le coût réel de reconstruction est typiquement **2 à 4 fois supérieur** au coût BT01 :

- techniques constructives non industrialisables (taille de pierre, voûtes, enduits à la chaux) ;
- prescriptions ABF imposant matériaux et finitions spécifiques ;
- accessibilité limitée : échafaudages en site étroit, absence de zone de stockage ;
- reproduction à l'identique d'éléments architecturaux (ferronneries, menuiseries XVIIIe...).

**Le BT01 est utilisé ici comme repère de comparaison et point de départ, pas comme valeur cible.**

L'**indice BT01** publié par l'INSEE mesure l'évolution du coût de construction pour les bâtiments résidentiels collectifs (base 100 = janvier 2010).

Paramètre	Valeur	Source / Remarque
Coût résidentiel collectif — base janv. 2010	1550 €/m <sup>2</sup>	Référence UNTEC / Batichiffre
Indice BT01 (janv. 2024)	130	Base 100 = janv. 2010 — publié par l'INSEE
<b>Coût standard 2024 (résidentiel neuf)</b>	<b>2015 €/m<sup>2</sup></b>	= 1550 × 130 / 100 — ⚠ neuf standard

### A.3.2. Prix de marché — transactions DVF

Les prix comparables ont été collectés depuis le registre **DVF** (Demandes de Valeurs Foncières, DGFIP — données publiques) dans un rayon de **1000 m** autour du bâtiment (**nn rue xx, 13100 Aix-en-Provence**).

Transactions retenues : appartements et maisons vendus entre **2022** et **2025**, surface 20–300 m<sup>2</sup>. **2276 transactions** retenues après filtrage géographique.

Indicateur statistique	Prix (€/m <sup>2</sup> )
Minimum	535 €/m <sup>2</sup>

Indicateur statistique	Prix (€/m <sup>2</sup> )
1 <sup>er</sup> quartile (Q1 – 25 %)	4768 €/m <sup>2</sup>
<b>Médiane</b>	<b>5835 €/m<sup>2</sup></b>
Moyenne	6733 €/m <sup>2</sup>
3 <sup>e</sup> quartile (Q3 – 75 %)	7381 €/m <sup>2</sup>
Maximum	24848 €/m <sup>2</sup>

### A.3.3. Transactions de référence (15 plus récentes)

Le tableau ci-dessous présente les transactions DVF les plus récentes retenues dans le périmètre de recherche, avec les données clés : date, type de bien, nombre de pièces, surface, prix total et prix au mètre carré.

Ces transactions fournissent des références de prix de marché local, permettant de contextualiser le coût de reconstruction par rapport aux réalités du marché immobilier environnant.

Date	Type	Pièces	Surface	Prix total	Prix/m <sup>2</sup>
2025-06	Appartement	2 p.	26 m <sup>2</sup>	100 k€	<b>3846 €</b>
2025-06	Appartement	2 p.	87 m <sup>2</sup>	311 k€	<b>3569 €</b>
2025-06	Appartement	3 p.	58 m <sup>2</sup>	329 k€	<b>5669 €</b>
2025-06	Appartement	4 p.	75 m <sup>2</sup>	332 k€	<b>4424 €</b>
2025-06	Appartement	5 p.	132 m <sup>2</sup>	730 k€	<b>5530 €</b>
2025-06	Appartement	1 p.	33 m <sup>2</sup>	480 k€	<b>14545 €</b>
2025-06	Appartement	1 p.	21 m <sup>2</sup>	150 k€	<b>7143 €</b>
2025-06	Appartement	2 p.	40 m <sup>2</sup>	160 k€	<b>4000 €</b>
2025-06	Appartement	2 p.	35 m <sup>2</sup>	197 k€	<b>5617 €</b>
2025-06	Appartement	2 p.	30 m <sup>2</sup>	115 k€	<b>3833 €</b>
2025-06	Appartement	2 p.	75 m <sup>2</sup>	615 k€	<b>8200 €</b>
2025-06	Appartement	2 p.	32 m <sup>2</sup>	164 k€	<b>5125 €</b>
2025-06	Appartement	1 p.	20 m <sup>2</sup>	65 k€	<b>3250 €</b>
2025-06	Appartement	2 p.	23 m <sup>2</sup>	149 k€	<b>6457 €</b>
2025-06	Appartement	1 p.	30 m <sup>2</sup>	231 k€	<b>7700 €</b>

Tableau 4. – Transactions DVF dans un rayon de 1000 m. Source : Etalab / DGFIP – données publiques open data.

### A.3.4. Prix de reconstruction « expert »

Un prix de reconstruction a été renseigné par un expert du bâtiment (champ optionnel, onglet Saisie ligne 12 dans le fichier Excel de saisie des données). Ce prix peut être issu d'un devis d'entreprise, d'une estimation d'un économiste de la construction, ou d'une référence publiée pour le secteur géographique.

Il constitue une **référence de terrain** précieuse pour valider ou ajuster les autres références, en particulier dans le contexte spécifique d'un bâtiment ancien en centre historique où les coûts de

reconstruction peuvent être très éloignés des référentiels théoriques (BT01) ou des prix de marché (DVF) en raison de la prime de localisation et des contraintes techniques associées :

Source	Valeur	Écart vs BT01
Prix reconstruction — source « expert »	<b>3850 €/m<sup>2</sup></b>	× 1.91 le BT01 théorique

### A.3.5. Synthèse — Progression des références de prix

Les différentes références de prix sont synthétisées dans le tableau ci-dessous, permettant de visualiser l'écart entre le coût théorique BT01, les prix de marché DVF, et la référence terrain « expert » (le cas échéant). Cette synthèse facilite l'interprétation de la valeur retenue pour l'analyse économique dans l'indice IV, en contextualisant le coût de reconstruction par rapport aux réalités du marché local et aux spécificités du bâtiment évalué.

Référence	Prix (€/m <sup>2</sup> )	Nature
BT01 — neuf standard (borne théorique ⚠)	2015 €/m <sup>2</sup>	Indice INSEE — neuf standard, hors contrainte
Prix médian marché DVF	5835 €/m <sup>2</sup>	Transactions réelles — marché local 2022–2025 (× 2.9 le BT01)
Prix reconstruction « expert »	3850 €/m <sup>2</sup>	Source renseignée dans la fiche bâtiment (× 1.91 le BT01)
<b>Valeur retenue pour l'IV — source expert ✓</b>	<b>3850 €/m<sup>2</sup></b>	<b>Représente 66% du prix médian DVF (5835 €/m<sup>2</sup>)</b>

**Prime de localisation.** Le prix médian DVF (5835 €/m<sup>2</sup>) représente × 2.9 le coût BT01 théorique (2015 €/m<sup>2</sup>). Cet écart traduit la **prime de niche** du marché local : en centre historique, la rareté du foncier, le prestige architectural et la demande internationale peuvent porter les prix de marché très au-delà de tout référentiel de construction. **Un ratio supérieur à 2,5 est caractéristique d'un marché de niche — à documenter dans le rapport.**

## A.4. Processus d'édition de ce rapport

L'édition de ce rapport suit la démarche suivante, structurée en trois étapes principales : collecte des données, calcul des indicateurs, et rédaction du rapport final :

### 1. Collecte des données :

- 1.1. saisie des données de visite dans la fiche bâtiment
- 1.2. téléchargement et traitement des données DVF pour le contexte économique de marché
- 1.3. saisie ou validation du prix de reconstruction expert/client

### 2. Calcul des indicateurs :

- 2.1. contre-calcul de portance résiduelle (P') et rapport P'/P
- 2.2. application des formules de calcul pour l'IRS et l'IV
- 2.3. classification des niveaux de risque et de vétusté
- 2.4. préparation des tableaux détaillés

### 3. Rédaction du rapport :

- 3.1. structuration du document selon les sections définies
- 3.2. intégration des tableaux et figures
- 3.3. rédaction des commentaires d'interprétation
- 3.4. relecture et validation finale

## A.4.1. Collecte des données

### Visite du bâtiment et saisie des données

- Inspection visuelle de chaque élément structural, par niveaux, en commençant par le niveau le plus bas (poteaux, poutres, planchers, murs porteurs) pour évaluer les désordres présents. La « lecture » est systématiquement effectuée dans le sens sols/murs/plafond pour chaque volume/pièce inspectée
- Saisie des données de base ( $D_0$ , évolutif, généralisé) pour chaque élément dans la fiche bâtiment

Pour faciliter le travail de saisie, un fichier type « checklist » — utilisable sur smartphone même hors-ligne — permet de noter/enregistrer toutes les observations et d'y associer des photographies.

Ce fichier est ensuite utilisé pour reporter les données dans la « fiche bâtiment » (fichier Excel) par un export en \*.csv et alimenter les calculs IRS et IV.

The screenshot shows a mobile application interface for a structural inspection checklist. The top bar displays the time 11:36 and the URL content://com.google. The main title is 'Checklist Visite Structurale - IRS + IV' with a progress indicator '0/33'. The form is divided into several sections:

- INFORMATIONS BÂTIMENT**: Fields for Adresse (26 rue de l'Aumône), Commune (13100 Aix-en-Provence), Référence dossier (2602P001), Date de visite (03/02/2026), Ingénieur (Turlier olivier), Type de bâtiment (Immeuble de rapport - XVIIIe siècle - 4 niveaux), Année construction (1780), Surface habitable (m²) (320), and Coût reconstruction neuf (€/m²) (2900).
- Cave / Sous-sol**: A checklist with three items: 'Accès (escalier, trappe)', 'Sols', and 'Murs (tous)', each with a 'Visité / RAS' checkbox.
- Élément / composant**: A text input field with the example 'Ex : Mur porteur Nord'.
- Dégradation observée + pathologie**: A text input field with the example 'Ex : Fissures diagonales actives, efflorescences'.
- D\_base (état dégradation)**: A dropdown menu with the option '- choisir -'.
- Évolutif ?**: A dropdown menu with the option 'NON'.
- Généralisé ? (>50%)**: A dropdown menu with the option 'NON'.
- P\_nportance origine**, **P'\_nportance résiduelle**, and **S\_base (criticité)**: Labels for data fields at the bottom.

Fig. 2. – Fichier de saisie sur smartphone

- Estimation de la portance résiduelle ( $P'$ ) basée sur les observations et les données techniques disponibles.
- Calcul de  $P'$  lorsque possible, ou attribution d'une pénalisation forfaitaire en l'absence de données précises (ex. portance non estimée  $\rightarrow P'/P = 0.9 \rightarrow C = 1.5$ ).

### Détermination de la portance résiduelle ( $P'$ ) et détermination du facteur C (fonction du rapport $P'/P$ )

Pour chaque élément structural affecté par un désordre, il est préférable d'effectuer un contre-calcul de la portance résiduelle ( $P'$ ) en utilisant les données d'observation (fissures, déformations,

corrosion) et les caractéristiques techniques de l'élément (matériau, section, portée).

Ce calcul permet d'obtenir une évaluation plus précise du rapport P'/P et donc du facteur C, plutôt que de se baser sur une pénalisation forfaitaire.

Les eurocodes et les guides de bonnes pratiques fournissent des méthodologies pour estimer la portance résiduelle en fonction des types de désordres observés (ex. réduction de section pour corrosion, diminution de module d'élasticité pour fissures).

L'utilisation de ces méthodologies permet d'affiner l'évaluation du risque structurel et d'obtenir une classification IRS plus précise.

Par exemple, pour un poteau en béton armé présentant des fissures de largeur moyenne de 0.3 mm, on peut estimer une réduction de module d'élasticité de 20 % et une réduction de section de 10 % due à la corrosion, conduisant à une portance résiduelle P' estimée à 70 % de la portance initiale P (P'/P = 0.7 → C = 3.0).

Ce type de calcul détaillé est à privilégier pour les éléments critiques identifiés lors de la visite, afin de mieux cibler les interventions et les recommandations.

#### A.4.1.1. Exemple complet — Poutre maîtresse en chêne (EN 338 / EC5)

Paramètre	Valeur
Matériau	Chêne massif — classe <b>C35</b> (EN 338)
Section b × h	400 × 600 mm
Portée L	6 000 mm
Flèche mesurée	<b>w<sub>mes</sub> = 25 mm</b> à mi-portée — affaissement perceptible à l'œil nu
Aire d'influence	A <sub>infl</sub> = 3 m × 6 m = <b>18 m<sup>2</sup></b> → largeur tribulaire b <sub>trib</sub> = <b>3.0 m</b>
Désordre 1	Fissures 2.5 mm aux appuis — empochements en mur porteur
Désordre 2	Humidité élevée aux appuis
Désordre 3	Vrillement / voilement hors plan vertical

#### 1 — Propriétés matériau — Chêne C35 (EN 338) et résistances de calcul (EC5)

Propriété	Symbole	Valeur car.	Valeur calcul — k <sub>mod</sub> = 0.80, γ <sub>M</sub> = 1.30 (EC5 SC2)
Flexion	f <sub>m,k</sub>	35 N/mm <sup>2</sup>	f <sub>m,d</sub> = <b>21.5 N/mm<sup>2</sup></b>
Cisaillement	f <sub>v,k</sub>	3.8 N/mm <sup>2</sup>	f <sub>v,d</sub> = <b>2.34 N/mm<sup>2</sup></b>
Compression ⊥ au fil	f <sub>c,90,k</sub>	2.3 N/mm <sup>2</sup>	f <sub>c,90,d</sub> = <b>1.42 N/mm<sup>2</sup></b>
Module élastique moyen	E <sub>0,m</sub>	13 000 N/mm <sup>2</sup>	— (ELS)
Module élastique car.	E <sub>0,05</sub>	8 700 N/mm <sup>2</sup>	— (LTB/ELU)

SC2 — k<sub>mod</sub> = 0.80 (charge de moyenne durée, EC5 Tab. 3.1) — γ<sub>M</sub> = 1.30 (bois massif, EC5 Tab. 2.3)

#### 2 — Charges et sollicitations de calcul (EN 1990 / EN 1991-1-1)

$$g_k = g_{\text{plancher}} \times b_{\text{trib}} + g_{\text{poutre}} = 2.5 \times 3.0 + 670 \times 10^{-6} \times 400 \times 600 \times 9.81 = 7.50 + 1.58 = 9.08 \text{ kN/m}$$

$$q_k = 1.5 \times 3.0 = 4.50 \text{ kN/m}$$

Combinaison ELU fondamentale (EN 1990, Éq. 6.10) :

$$q_d = 1.35 \cdot g_k + 1.50 \cdot q_k = 1.35 \times 9.08 + 1.50 \times 4.50 = 12.26 + 6.75 = 19.01 \text{ kN/m}$$

$$M_d = \frac{q_d L^2}{8} = \frac{19.01 \times 6.0^2}{8} = 85.5 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad ; \quad V_d = \frac{q_d L}{2} = \frac{19.01 \times 6.0}{2} = 57.0 \text{ kN}$$

### 3 — Propriétés de la section (b × h = 400 × 600 mm)

$$I_y = \frac{bh^3}{12} = \frac{400 \times 600^3}{12} = 7.20 \times 10^9 \text{ mm}^4 \quad ; \quad W_y = \frac{bh^2}{6} = \frac{400 \times 600^2}{6} = 2.40 \times 10^7 \text{ mm}^3$$

$$I_z = \frac{hb^3}{12} = \frac{600 \times 400^3}{12} = 3.20 \times 10^9 \text{ mm}^4 \quad (\text{axe faible — déversement})$$

### 4 — Vérifications ELU (EC5 §6.1)

Vérif.	Formule EC5	Contrainte	Résistance	Util.	
Flexion §6.1.6	$\sigma_{m,d} = M_d/W_y$	3.56 N/mm <sup>2</sup>	21.5 N/mm <sup>2</sup>	<b>16.6 %</b>	✓
Cisaillement §6.1.7	$\tau_d = 3V_d/(2A)$	0.356 N/mm <sup>2</sup>	2.34 N/mm <sup>2</sup>	<b>15.2 %</b>	✓

Taux d'utilisation inférieurs à 20 % dans les deux cas — **section historiquement surdimensionnée**, caractéristique des constructions XVIIIe s. (dimensionnement empirique, non par le calcul). La réserve de résistance en flexion est **6x la sollicitation de calcul** : cette poutre, même dégradée, **n'est pas en risque de rupture en flexion**.

### 5 — Stabilité en déversement / vrillement (EC5 §6.3.3 et Annexe B)

Longueur de déversement (charge uniformément répartie, EC5 Annexe B Tab. B.1) :  $l_{ef} = 0.9L = 5400 \text{ mm}$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0.78b^2 E_{0,05}}{hl_{ef}} = \frac{0.78 \times 400^2 \times 8700}{600 \times 5400} = 334 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{35}{334}} = 0.32 < 0.75 \Rightarrow k_{crit} = 1.0 \quad (\text{EC5 Éq. 6.34a — aucune réduction})$$

**Interprétation du vrillement observé** : avec  $\lambda_{rel,m} = 0.32$  et  $\sigma_{m,crit} = 334 \text{ N/mm}^2$ , le déversement élastique est exclu pour cette section. Le vrillement constaté est d'origine **hygrique** (cycles humidité/séchage sur 240 ans → gauchissement du bois massif) et non mécanique. Il traduit une exposition prolongée à l'humidité et une perte de retenue latérale dans les empochements dégradés.

### 6 — Déformations ELS (EC5 §7.2)

$$w_{inst,g} = \frac{5g_k L^4}{384E_{0,m}I_y} = \frac{5 \times 9.08 \times 6000^4}{384 \times 13000 \times 7.20 \times 10^9} = 1.64 \text{ mm}$$

$$w_{inst,q} = \frac{5q_k L^4}{384E_{0,m}I_y} = \frac{5 \times 4.50 \times 6000^4}{384 \times 13000 \times 7.20 \times 10^9} = 0.81 \text{ mm}$$

Flèche nette finale avec fluage ( $k_{def} = 0.80$  bois massif SC2 ;  $\psi_2 = 0.30$  hab.) :

$$w_{net,fin} = w_{inst,g}(1 + k_{def}) + w_{inst,q}(1 + \psi_2 k_{def}) = 1.64 \times 1.80 + 0.81 \times 1.24 = 2.95 + 1.00 = 3.95 \text{ mm}$$

Flèche	Valeur calculée (saine)	Limite EC5 §7.2	Statut
$w_{inst}$	2.45 mm	L/300 = 20 mm	✓ — 12 % de la limite
$w_{net,fin}$ (EC5)	3.95 mm	L/250 = 24 mm	✓ — 16 % de la limite
<b><math>w_{mes}</math> in situ</b>	<b>25 mm</b>	L/300 = 20 mm	<b>✗ — 125 % de la limite</b>

**Écart flèche mesurée / théorique** :  $w_{mes} = 25 \text{ mm} = L/240$  — soit **6.3x la valeur théorique finale** (3.95 mm) et **25 % au-dessus de la limite** EC5 §7.2 (L/300 = 20 mm). Compte tenu des imprécisions inhérentes aux mesures in situ (référentiel d'appui, déformations initiales de pose, variation hygrique saisonnière), cet écart peut être partiellement d'origine historique — **240 ans de fluage cumulé, cycles humidité/séchage, déformation différée**. Il traduit néanmoins une **perte de rigidité effective** par rapport à l'état théorique sain, cohérente avec les désordres aux empochements observés.

## Lecture combinée contrainte-flèche — diagnostic de la cause :

Si la flèche excessive était due à une **surcharge**, les deux indicateurs seraient proportionnellement dépassés. Or :

- Contrainte de flexion  $\sigma_{m,d} = 3.56 \text{ N/mm}^2 \rightarrow 16.6 \%$  de  $f_{m,d} = 6 \times$  **sous la limite** ✓
- Flèche mesurée  $w_{mes} = 25 \text{ mm} \rightarrow 125 \%$  de  $L/300 =$  légèrement au-dessus X

Ce **découplage  $\sigma$ - $w$**  est la signature d'une **perte de rigidité EI effective** et non d'une surcharge : section réduite aux empochements, ramollissement hygrique du bois, rotation partielle aux appuis. La poutre supporte correctement les efforts normaux — c'est sa **raideur qui est affectée**, non sa résistance immédiate.

## 7 — Portance de l'appui : P et P' (EC5 §6.1.5 — compression $\perp$ au fil)

### P — Portance initiale (état sain)

Mode de ruine : **écrasement**  $\perp$  **fibres** à l'appui (empochement)

- Longueur d'appui :  $l_b = 200 \text{ mm}$
- Aire de contact :  $A_b = 400 \times 200 = 80000 \text{ mm}^2$
- Résistance :  $f_{c,90,d} = 1.42 \text{ N/mm}^2$

$$P = f_{c,90,d} \times A_b = 1.42 \times 80000 = 113.6 \text{ kN}$$

Coefficient de sécurité (ELU) :

$$k_{sec} = \frac{P}{V_d} = \frac{113.6}{57.0} = 2.0$$

### P' — Portance résiduelle (état dégradé)

#### (a) Réduction de section — fissures :

Propagation estimée : 40 mm de profondeur à l'appui

- $l'_b = 200 - 40 = 160 \text{ mm}$
- $A'_b = 400 \times 160 = 64000 \text{ mm}^2$
- Facteur section :  $64/80 = 0.80$

#### (b) Dégradation hygrique — SC3 local :

Humidité élevée  $\rightarrow k_{mod,wet} = 0.50$

- $f'_{c,90,d} = 0.50 \times 2.3/1.30 = 0.885 \text{ N/mm}^2$
- Facteur résistance :  $0.885/1.42 = 0.623$

$$P' = 0.885 \times 64000 = 56.6 \text{ kN}$$

$$\frac{P'}{P} = \frac{56.6}{113.6} = 0.50 < 0.60 \Rightarrow C = 5.0$$

Coefficient de sécurité résiduel (ELU) :

$$k'_{sec} = \frac{P'}{V_d} = \frac{56.6}{57.0} \approx 1.0$$

Réaction caractéristique (charges non majorées) :  $R_k = (g_k + q_k) \times L/2 = 13.58 \times 3.0 = 40.7 \text{ kN} \rightarrow k'_{sec,k} = 56.6/40.7 = 1.39$  (marge réelle en service).

## 8 — Facteurs IRS et résultat

Facteur	Symbole	Valeur	Justification
Cotation dégradation	$D_0$	<b>8 — Critique</b>	Fissures 2.5 mm $\rightarrow$ « fissuration large » (échelle D, palier 4)
Modificateur évolutif	$m_{év}$	<b><math>\times 1.0</math></b>	Humidité mesurée en surface (capteur capacitif 5 mm) — humidité cœur non caractérisée, caractère évolutif non établi
Modificateur généralisé	$m_{gé}$	<b><math>\times 1.0</math></b>	Désordres localisés aux deux appuis
<b>D final</b>	$D_{final}$	<b>8</b>	$8 \times 1.0 \times 1.0$
Rapport portance	$P'/P$	<b>0.50</b>	Section $\times 0.80$ , résistance hygrique $\times 0.623$
<b>Condition appuis</b>	<b>C</b>	<b>5.0</b>	$P'/P = 0.50 < 0.60 \rightarrow$ pénalisation maximale
Sévérité structurelle	$S_0$	<b>2.5</b>	Poutre maîtresse $\rightarrow$ « plancher, rôle portant régional »
Modificateur	$m_S$	<b><math>\times 1.2</math></b>	Flèche mesurée $6 \times$ le théorique + vrillement hygrique $\rightarrow$ accumulation de désordres sur nœud structurel critique
<b>S final</b>	$S_{final}$	<b>3.0</b>	$2.5 \times 1.2$

$$IRS_{élément} = D_{final} \times C \times S_{final} = 8 \times 5.0 \times 3.0 = 120$$

## IRS = 120 — DANGER (seuil $\geq$ 120 — valeur limite)

**Actions recommandées** : sondage destructif des empochements (vérification de la section résiduelle réelle), **mesure hygrométrique au cœur** par sonde résistive enfoncée ( $\geq 30$  mm) pour qualifier le caractère évolutif de l'humidité, surveillance visuelle des fissures. Si le sondage révèle une section résiduelle inférieure aux hypothèses ou une humidité cœur élevée ( $> 20$  %), réévaluation avec  $m_{\text{év}} = 1.5 \rightarrow \text{IRS} = 180$ .

*Mise en perspective* : cette poutre assure sa fonction portante depuis **240 ans** — preuve empirique d'une réserve structurelle historique. L'IRS = 120 (valeur seuil) traduit **la convergence de désordres significatifs sur un nœud critique** sans pour autant qualifier un risque d'effondrement imminent. En service courant, la marge sur charges caractéristiques est positive ( $k'_{\text{sec,k}} = 1.39$ ). L'enjeu est de **caractériser précisément l'état réel des empochements et de l'humidité cœur** avant toute décision de confortement.

### A.4.2. Rédaction du rapport

Le rapport résulte de l'assemblage des données d'entrée, des calculs d'indicateurs, et de l'interprétation des résultats. Pour ce faire, différents scripts et logiciels sont utilisés à chaque étape :

1. collecte et saisie des données :
  - fichier « checklist » pour la saisie sur smartphone (format .html avec export en .csv) lors de la visite du bâtiment
  - fiche bâtiment (Excel) : saisie et calculs de base
2. traitement des données :
  - script R pour :
    - filtrage, calcul et export des données d'Excel vers un fichier de données au format typst .typ
    - récupération et traitement des données DVF pour le contexte économique de marché (calcul des statistiques de prix, préparation du tableau de transactions récentes)
    - génération des graphiques de synthèse (graphique en « radar » pour l'indice IRS)
  - concaténation des données et des graphiques dans un document « Typst » pour la rédaction du rapport final
3. rédaction du rapport : assemblage dans un document « Typst » maître, appelant des annexes, un glossaire ...

### A.4.3. Structure type d'un dossier

```
2602P001/
| checklist_visite.html
| comparables_marche.csv
| evaluation_IRS_IV_v4.pdf
| evaluation_IRS_IV_v4.typ
| eval_indices_IRS+IV_synthese.xlsx
| justfile
|
+--- content
| | annexes.typ
| | data_v4.typ
| | fonctions.typ
```

		glossaire.typ
		\---graphics
		irs_par_element.png
		irs_radar.png
		iv_postes.png
		synthese.png
		+---images
		...
		231115_logo-regrain_V3-trans.png
		...
		signature_ACB.png
		...
		\---scripts
		generate_v4.R
		update_prix_marche.R

#### A.4.4. Script d'édition du rapport

**R** est un langage open-source spécialisé dans le traitement statistique et la visualisation de données. Conçu à l'origine pour la recherche scientifique, il s'est imposé comme référence dans les domaines de l'ingénierie et de l'expertise, notamment grâce à son écosystème de packages (`tidyverse`, `ggplot2`, `readxl`) et à sa capacité à produire des graphiques de qualité publication.

Dans le contexte de ce rapport, R remplace avantageusement un enchaînement de tableurs manuels : à partir d'un unique fichier Excel de saisie, un script unique lit, valide, calcule et exporte l'ensemble des résultats — indices, graphiques, données structurées — sans intervention humaine entre la saisie de terrain et le rapport final. Cela élimine les erreurs de recopie, garantit la reproductibilité d'un rapport à l'autre, et permet de régénérer l'intégralité du document en quelques secondes si une donnée est corrigée.

Le fichier `scripts/generate_v4.R` effectue les opérations suivantes :

1. **Lecture de l'Excel** — lit l'onglet « Saisie » : métadonnées du bâtiment (adresse, surface, coût neuf), vétusté par poste IV et coefficient K, tableau IRS élément par élément (`D_base`, évolutif/généralisé, `P/P'`, `S`).
2. **Calcul des indices** — recalcule `D_final`, `C` (depuis `P'/P`), `S_final` et IRS pour chaque élément ; en déduit `SEMD`, `SGMP` et `IRS_final`. Calcule `IV_brut`, `IV_corrige`, valeur résiduelle et coût de rénovation estimé.
3. **Référence prix marché** — géocode l'adresse (API `adresse.data.gouv.fr`), lit `comparables_marche.csv` (transactions DVF saisies manuellement) et calcule les statistiques de marché (médiane, quartiles) ; compare avec le coût BT01 de référence.
4. **Génération des graphiques** (4 fichiers PNG dans `content/graphics/`) :

- `irs_par_element.png` — barres horizontales IRS par élément, triées et colorées par niveau de risque
  - `iv_postes.png` — vétusté par poste (GO, Toiture, Réseaux, Finitions) + IV corrigé final
  - `irs_radar.png` — radar IRS multi-axes avec centroïde pondéré
  - `synthese.png` — barre comparative IRS final vs IV corrigé
5. **Export content/data\_v4.typ** — écrit toutes les variables Typst (bâtiment, résultats IRS, indices, données économiques, stats DVF, transactions récentes, ratios BT01) pour injection dans le rapport sans saisie manuelle.

## A.4.5. Script de récupération des prix de marché DVF

Le fichier `scripts/update_prix_marche.R` est exécuté séparément, en amont de `generate_v4.R`, pour constituer la base de comparables de marché. Il est optionnel : le fichier `comparables_marche.csv` qu'il produit peut aussi être renseigné manuellement depuis d'autres sources (Meilleurs Agents, SeLoger, etc.).

1. **Lecture de l'adresse** — lit l'adresse et la commune depuis l'Excel (cellules B3:B4) sans charger le reste de la feuille.
2. **Géocodage** — interroge l'API Adresse nationale (`api-adresse.data.gouv.fr`) pour obtenir les coordonnées GPS du bâtiment et le code INSEE de la commune, nécessaires au filtrage géographique.
3. **Téléchargement DVF** — récupère les CSV annuels de la base geo-DVF (`data.gouv.fr`) pour les 4 dernières années, filtrés par département et commune, directement depuis les serveurs de la DGFIP.
4. **Filtrage géographique et qualitatif** — ne retient que les ventes de logements (appartements et maisons) dans un rayon de 1 000 m autour du bâtiment, avec filtres sur la surface (20-300 m<sup>2</sup>) et le prix (> 500 €/m<sup>2</sup>), distance calculée par la formule haversine.
5. **Export comparables\_marche.csv** — écrit les transactions retenues (date, type, surface, prix total, prix/m<sup>2</sup>, distance) dans un CSV révisable manuellement avant de lancer la génération du rapport.

## A.4.6. Orchestration avec just

**Just** est un outil d'automatisation de tâches (similaire à `make`, mais plus lisible et sans dépendances implicites). Il lit un fichier `justfile` placé à la racine du projet et expose une liste de **recettes** exécutable par la commande `just <recette>`. Chaque recette enchaîne les commandes shell nécessaires à une étape du workflow, ce qui remplace une série de commandes à taper manuellement dans le terminal et garantit que chaque étape est exécutée dans le bon ordre, avec les bons paramètres.


Le `justfile` de ce projet définit les recettes suivantes :

Recette	Action
<code>just</code> (défaut)	Affiche la liste des recettes disponibles
<code>just generate</code>	Lance <code>generate_v4.R</code> — calcule les indices, génère les 4 PNG et exporte <code>data_v4.typ</code>
<code>just compile</code>	Compile <code>evaluation_IRS_IV_v4.typ</code> en PDF via Typst
<code>just all</code>	Enchaîne <code>generate</code> puis <code>compile</code> : pipeline complet depuis l'Excel

Recette	Action
just update-prix	Lance update_prix_marche.R — télécharge les données DVF et génère comparables_marche.csv
just all-with-prix	Pipeline complet avec mise à jour DVF préalable : update-prix → generate → compile
just watch	Mode veille Typst : recompile le PDF automatiquement à chaque sauvegarde du .typ
just open	Ouvre le PDF généré dans le visualiseur par défaut
just init-excel	Recrée le fichier Excel template depuis creer_template.R (après modification du modèle)
just compile-slug "ref"	Compile le PDF avec un nom daté : 260301_ref_evaluation-IRS+IV.pdf
just nouveau DATE REF	Crée un nouveau dossier de diagnostic (copie Excel, scripts, template Typst) prêt à l'emploi
just check	Vérifie que toutes les dépendances sont installées (R, packages, Typst, just)
just clean	Supprime les fichiers générés (data_v4.typ, PNG, PDF) pour repartir d'un état propre

## Sortie de la commande just all :

```
Rscript scripts/generate_v4.R
```

 Bash

Messages d'avis :

- 1: le package 'readxl' a été compilé avec la version R 4.5.1
- 2: le package 'dplyr' a été compilé avec la version R 4.5.1
- 3: le package 'ggplot2' a été compilé avec la version R 4.5.2
- 4: le package 'patchwork' a été compilé avec la version R 4.5.2

Lecture Excel ...

New names:

- `` -> `...1`  
→ Prix expert retenu pour l'IV : 3850 €/m<sup>2</sup> (B11 remplacé)

New names:

- `` -> `...1`  
Bâtiment : 26 rue de l'Aumône  
IV : G0= 0.18 K= 1.05  
IRS : 8 éléments  
SEMD = 54 – Voile béton cave – mur porteur Nord  
SGMP = 19.2  
IRS\_FINAL = 54  
IV\_brut = 43.4 % – IV\_corrige = 45.6 %

Géocodage de l'adresse ...

Coordonnées : 43.52833 N / 5.44639 E

Lecture comparables : comparables\_marche.csv

Comparables : 2276 transactions – médiane 5835 €/m<sup>2</sup> ( 2022 – 2025 )

BT01 standard : 2015 €/m<sup>2</sup> – coeff. spécifique : 1.91

Ratio marché/BT01 : 2.9 – Ratio marché/retenu : 1.52

Prix expert/client : 3850 €/m<sup>2</sup>

Messages d'avis :

1: Removed 1 row containing missing values or values outside the scale range (``geom_vline()``).

2: Removed 1 row containing missing values or values outside the scale range (``geom_text()``).

✓ `irs_par_element.png`

✓ `iv_postes.png`

Message d'avis :

The ``label.size`` argument of ``geom_label()`` is deprecated as of ggplot2 3.5.0.

i Please use the ``linewidth`` argument instead.

✓ `irs_radar.png`

✓ `synthese.png`

✓ `data_v4.typ`

== RÉSUMÉ ==

Bâtiment : 26 rue de l'Aumône - 13100 Aix-en-Provence

IRS final : 54 [SEMD= 54 SGMP= 19.2 ]

IV corrigé : 45.6 % [IV\_brut= 43.4 %]

Valeur résid: 670 k€ / 1232 k€

Fichiers générés dans : content/graphics /

Template data : content/data\_v4.typ

→ typst compile evaluation\_IRS\_IV\_v4.typ

typst compile evaluation\_IRS\_IV\_v4.typ

Write-Host "Rapport PDF généré"

Rapport PDF généré

## A.5. Glossaire des termes et abréviations

### A.5.1. Acteurs et procédure

**ABF – Architectes des Bâtiments de France:** Service de l'État chargé de la protection du patrimoine architectural. Dans les périmètres classés (abords de monuments historiques, sites patrimoniaux remarquables), l'ABF impose des contraintes sur les matériaux, les techniques et l'aspect extérieur des travaux, pouvant majorer significativement les coûts de reconstruction.

**BET – Bureau d'Études Techniques:** Entreprise spécialisée dans le calcul de structures et l'expertise technique du bâtiment. Le BET structure réalise les vérifications réglementaires (eurocodes), les contre-calculs de portance et les évaluations IRS pour le compte du maître d'ouvrage ou du maître d'œuvre.

**Contre-calcul:** Vérification analytique de la capacité portante résiduelle  $P'$  d'un élément dégradé, réalisée à partir des observations de terrain (fissures, perte de section, humidité) et des formules des eurocodes. Permet de quantifier objectivement la réduction de portance pour déterminer le facteur  $C$ .

**Étalement:** Dispositif temporaire de soutènement (étais, tours d'étalement) mis en place en urgence pour reprendre la charge d'un élément structurel défaillant ou en cours de réparation. Prescrit systématiquement pour tout élément atteignant le niveau DANGER ( $IRS \geq 120$ ).

**Sondage destructif:** Prélèvement ou investigation physique (carotte béton, dépose de revêtement, perçage d'empochement) permettant de vérifier la section résiduelle réelle d'un élément ou l'état de son ancrage. Prescrit pour les éléments classés CRITIQUE ou DANGER afin de lever les incertitudes du diagnostic visuel.

**Témoin de fissure:** Pastille ou jauge posée à cheval sur une fissure pour détecter et mesurer son éventuelle évolution dans le temps. Peut être en plâtre, en verre ou électronique. La progression du témoin caractérise une fissure évolutive et justifie le modificateur  $m_{év} = 1.5$ .

**Visite diagnostic:** Inspection visuelle systématique du bâtiment réalisée par un ingénieur structure. Couvre tous les éléments porteurs accessibles (fondations, murs, planchers, charpente) niveau par niveau. Donne lieu à une fiche d'observations photographiées et chiffrées ( $D_0$ ,  $P'/P$ ,  $S_0$ ) servant de base au calcul IRS.

### A.5.2. Calcul bois

**Classe de service:** Classification EC5 des conditions hygriques d'utilisation du bois : SC1 (intérieur chauffé, humidité  $< 12\%$ ), SC2 (couvert non chauffé ou intérieur non régulé, humidité  $12-20\%$ ), SC3 (extérieur ou humide, humidité  $> 20\%$ ). Détermine  $k_{mod}$  et  $k_{def}$ .

**Déversement – Flambement latéral par torsion:** Mode d'instabilité d'une poutre comprimée en flexion : la semelle comprimée dévie latéralement et la section tourne. Vérifié via l'élançement relatif  $\lambda_{rel,m}$  et le facteur  $k_{crit}$  (EC5 §6.3.3). Si  $\lambda_{rel,m} < 0.75$ ,  $k_{crit} = 1.0$  (pas de réduction).

**EC5 – Eurocode 5 – EN 1995-1-1:** Norme européenne de calcul des structures en bois. Définit les classes de service (SC1, SC2, SC3), les résistances caractéristiques des bois classés (EN 338), les états limites ultimes (ELU) et de service (ELS), les facteurs  $k_{mod}$  et  $k_{def}$ , et les vérifications de déversement (LTB).

**ELS - État Limite de Service:** Condition de calcul correspondant aux critères de confort et de fonctionnalité (déformations, vibrations, fissuration). Pour les planchers bois, la limite de flèche nette finale est typiquement  $L/300$ . Les charges ne sont pas majorées (ou majorées différemment selon la combinaison).

**ELU - État Limite Ultime:** Condition de calcul correspondant à la rupture ou à l'instabilité de la structure. Les charges sont majorées par des coefficients partiels (1.35 sur les charges permanentes, 1.50 sur les charges variables). Les contraintes de calcul ( $\sigma_{m,d}$ ,  $\tau_d$ ) doivent rester inférieures aux résistances de calcul ( $f_{m,d}$ ,  $f_{v,d}$ ).

**$k_{mod}$  - Facteur de modification:** Coefficient réducteur de la résistance caractéristique du bois (EC5 §2.4.1), tenant compte de la durée de charge et de la classe de service. Varie de 0.50 (charge longue durée, SC3 humide) à 1.10 (charge instantanée, SC1 sec). Appliqué via :  $f_d = k_{mod} \times f_k / \gamma_M$ .

### A.5.3. Composants bâtiment

**Finitions:** Ensemble des éléments de second-œuvre : menuiseries intérieures et extérieures, revêtements de sol et mural, peintures, cloisons non porteuses. Poids de 20 % dans l'IV. Durée de vie de 20 à 30 ans ; dégradation visible en surface, la plus facilement perceptible lors d'une visite.

**GO - Gros-Œuvre:** Ensemble des éléments structurels permanents du bâtiment : fondations, murs porteurs, planchers structurels, refends, poteaux. Poids de 50 % dans le calcul de l'IV brut. Durée de vie typique de 100 à 150 ans pour une maçonnerie pierre ou béton armé bien conservé.

**Réseaux:** Ensemble des équipements techniques du bâtiment : électricité, plomberie, chauffage (chaudière, émetteurs), VMC. Poids de 15 % dans l'IV. Durée de vie de 25 à 40 ans ; souvent en fin de vie dans les bâtiments de plus de 40 ans sans rénovation.

**Toiture:** Ensemble du système de couverture : charpente (bois ou métal), couverture (tuiles, ardoises, bac acier), zinguerie et étanchéité des points singuliers. Poids de 15 % dans l'IV. Durée de vie de 30 à 50 ans selon les matériaux ; composant fréquemment dégradé dans les bâtiments anciens.

**VMC - Ventilation Mécanique Contrôlée:** Système de renouvellement d'air mécanique assurant l'extraction de l'air vicié et l'entrée d'air neuf dans les logements. Composant des réseaux techniques (poids 15 % IV). Son absence ou sa défaillance favorise les problèmes d'humidité et de moisissures.

### A.5.4. Estimation immobilière

**BT01 - Indice du coût de la construction – Bâtiment tertiaire:** Indice de coût de construction publié mensuellement par l'INSEE (base 100 = janvier 2010). Sert de plancher théorique pour estimer le coût de reconstruction neuve à partir du prix au  $m^2$  SHON. Représente le coût minimal hors contraintes architecturales particulières.

**Coefficient K - Coefficient de qualité d'entretien:** Correcteur appliqué à l'IV brut pour tenir compte de la qualité de la maintenance préventive du bâtiment.  $K = 0.8$  (entretien exemplaire) →  $K = 1.4$  (entretien absent ou très insuffisant). Un entretien défaillant aggrave la dépréciation effective, un entretien rigoureux la ralentit.

**DVF - Demandes de Valeurs Foncières:** Base de données publique de la DGFIP recensant toutes les transactions immobilières enregistrées en France (depuis 2014). Accessible via [data.gouv.fr](https://data.gouv.fr).

Utilisée pour établir les comparables de marché (prix médian, quartiles, prix/m<sup>2</sup>) dans le périmètre géographique du bien expertisé.

**Valeur de reconstruction:** Coût de reconstruction du bâtiment à l'identique aux prix courants de la main-d'œuvre et des matériaux. Estimée à partir de ratios au m<sup>2</sup> selon le type constructif, corrigés par les contraintes patrimoniales (ABF). Base de calcul de la valeur résiduelle et du budget de rénovation.

**Valeur résiduelle:** Valeur physique actuelle d'un bâtiment, égale à sa valeur de reconstruction neuve diminuée de la dépréciation due à la vétusté :  $V_{\text{résiduelle}} = V_{\text{reconstruction}} \times (1 - IV/100)$ . Reflète l'état intrinsèque du bâti, indépendamment des conditions de marché.

**Valeur vénale:** Prix de vente estimé d'un bien immobilier sur le marché, intégrant la localisation, l'offre et la demande, le régime locatif et les contraintes patrimoniales (ABF). Distincte de la valeur résiduelle (physique) : en centre-ville historique, la valeur vénale peut être 2 à 3 fois supérieure à la valeur de reconstruction.

## A.5.5. Facteurs IRS

**C – Facteur de Condition des appuis:** Second facteur du calcul IRS. Quantifie la perte de capacité portante de l'élément, mesurée par le rapport P'/P entre portance résiduelle et portance originale. Varie de 1.0 (capacité intacte, P'/P ≥ 1.2) à 5.0 (perte sévère, P'/P < 0.6).

**D – Facteur de Dégradation:** Premier facteur du calcul IRS. Évalue la gravité intrinsèque du désordre observé sur l'élément, selon une échelle géométrique : 1 (bon état), 2 (dégradation légère), 4 (dégradation modérée), 8 (dégradation critique), 16 (ruine imminente). La valeur finale  $D_{\text{final}} = D_0 \times m_{\text{év}} \times m_{\text{gé}}$  intègre les modificateurs de contexte.

**S – Facteur de Sévérité structurelle:** Troisième facteur du calcul IRS. Reflète l'importance de l'élément dans le système porteur global. Varie de 0.5 (élément non porteur) à 3.0 (fondation ou élément de stabilité générale). La valeur finale  $S_{\text{final}} = S_0 \times \text{mod}_S$  intègre les pénalités de contexte (porte-à-faux, concentration de contraintes).

**$m_{\text{év}}$  – Modificateur évolutif:** Coefficient multiplicateur appliqué au facteur D lorsque le désordre est actif et en progression mesurable (fissures en extension, déformation croissante, humidité ascendante). Prend la valeur 1.5 si l'évolution est avérée, 1.0 si le désordre est stabilisé. Nécessite une instrumentation ou deux campagnes d'observation pour être caractérisé.

**$m_{\text{gé}}$  – Modificateur généralisé:** Coefficient multiplicateur appliqué au facteur D lorsque le désordre affecte plus de 50 % de la surface de l'élément ou se répète sur des éléments similaires. Prend la valeur 1.2 si la dégradation est généralisée, 1.0 sinon.

## A.5.6. Indices

**IRS – Indice de Risque Structurel:** Indice numérique quantifiant la sévérité d'un désordre structurel sur un élément porteur. Calculé par le produit  $IRS = D \times C \times S$  ; varie de 1 (état sain) à plus de 120 (danger immédiat). Chaque élément du bâtiment reçoit son propre IRS ; le score global est le maximum entre SEMD et SGMP.

**IV – Indice de Vétusté:** Indice exprimé en pourcentage (0-100 %) mesurant la perte de valeur économique d'un bâtiment due à l'usure et au vieillissement de ses composants. Calculé par

pondération de quatre postes (GO, Toiture, Réseaux, Finitions) et corrigé par un coefficient d'entretien K. La valeur résiduelle du bâtiment est proportionnelle à  $(100 \% - IV)$ .

**SEMD – Sévérité de l'Élément le plus Mal Dimensionné:** Valeur maximale des IRS élémentaires :  $SEMD = \max(IRS_i)$ . Capture le risque de rupture localisée au maillon le plus faible de la structure, indépendamment de l'état général du bâtiment.

**SGMP – Score Global Moyen Pondéré:** Moyenne pondérée des IRS élémentaires :  $SGMP = \frac{\sum(IRS_i \times p_i)}{\sum p_i}$ , où  $p_i$  est le poids attribué à chaque élément (surface tributaire, importance structurelle). Rend compte de la dégradation diffuse répartie sur l'ensemble du bâtiment.

## A.5.7. Pathologie

**Corrosion:** Oxydation des armatures métalliques ou des connecteurs sous l'effet de l'humidité et du  $CO_2$ . Réduit la section efficace de l'acier et peut délaminer le béton d'enrobage. Quantifiée par une réduction de section estimée visuellement ou par sondage, qui diminue la portance résiduelle  $P'$ .

**Fissuration:** Ouverture d'une discontinuité dans un matériau sous l'effet de contraintes de traction, de cisaillement ou de variations thermohygrométriques. Classée selon la largeur (capillaire  $< 0.1$  mm, fine  $0.1-0.3$  mm, large  $> 0.3$  mm) et l'activité (stabilisée ou évolutive). Une fissure évolutive implique  $m_{év} = 1.5$ .

**Flèche:** Déformation verticale d'un élément horizontal (poutre, plancher) sous charge. La flèche instantanée  $w_{inst}$  est calculée par les eurocodes ; la flèche nette finale  $w_{net,fin}$  intègre le fluage. La flèche mesurée in situ  $w_{mes}$  est comparée aux limites de l'EC5 ( $L/300$  typiquement pour les planchers).

**Fluage:** Déformation différée sous charge constante, propre aux matériaux visco-élastiques comme le bois. Caractérisé par le coefficient  $k_{def}$  ( $0.80$  pour le bois massif en classe de service 2). Dans les bâtiments anciens, le fluage accumulé sur plusieurs siècles explique souvent des flèches mesurées très supérieures aux flèches théoriques élastiques.

**Gauchissement:** Déformation hors-plan d'une pièce de bois (vrillage, arc, flèche latérale) due aux cycles hygrométriques répétés. Indicateur indirect de la perte de maintien latéral aux appuis et d'une exposition à l'humidité ancienne ou actuelle.

**Humidité cœur:** Teneur en eau mesurée au cœur d'une pièce de bois, à une profondeur d'au moins  $30$  mm, par sonde résistive. Distinguée de la mesure de surface (capteur capacitif,  $\sim 5$  mm de profondeur) qui ne reflète pas l'état hydrique réel de la section. Un bois sain doit présenter une humidité cœur inférieure à  $18-20$  % en service.

## A.5.8. Structure

**Aire d'influence:** Surface de plancher dont les charges sont transmises à un élément structurel donné. Aussi appelée surface tributaire. Détermine les charges linéiques  $g_k$  et  $q_k$  appliquées à une poutre : charge = charge surfacique  $\times$  largeur tributaire.

**Empochement:** Logement pratiqué dans un mur maçonné pour recevoir l'extrémité d'une poutre. Point critique en compression perpendiculaire au fil du bois ( $f_{c,90}$ ) et en humidité (accumulation d'eau par capillarité). Un empochement dégradé réduit fortement la portance résiduelle  $P'$ .

**Portance (P):** Capacité portante nominale d'un élément structurel dans son état d'origine, estimée par calcul (eurocodes) à partir des caractéristiques du matériau et de la géométrie. Représente la résistance de référence avant toute dégradation.

**Portance résiduelle (P')**: Capacité portante résiduelle d'un élément après prise en compte des dégradations observées (perte de section, réduction du module d'élasticité, compression excessive). Estimée par contre-calcul à partir des observations de terrain et des formules eurocodes. Le rapport P'/P détermine le facteur C.

**Porte-à-faux:** Élément structural en encorbellement (balcon, auvent, plancher débordant) dont une extrémité est libre et l'autre encastrée. Génère un moment fléchissant inversé par rapport à une poutre sur appuis simples ; augmente la sévérité S (mod\_S = 1.3 typiquement).