

PROJET DE FIN D'ETUDE – IMAFA 2025–2026

**Intelligence Artificielle appliquée à l'assurance
emprunteur**

Auteur : Adel Kechid, Ethan Ada, Valentin Beaufiles

Année académique : 2025–2026

Table des matières

1	Introduction et objectifs du projet	3
1.1	Contexte et motivation	3
1.2	Problématique	3
1.3	Objectifs scientifiques et livrables	4
1.4	Organisation du mémoire	4
2	Évaluation immobilière par IA (cadre méthodologique)	6
2.1	Données et préparation	6
2.2	Modèle et métriques	6
2.3	Exploitation du modèle et interprétabilité	6
3	Prêt immobilier : amortissement et capital restant dû	7
3.1	Notations	7
3.2	Échéance constante	7
3.3	Capital restant dû	7
4	Assurance emprunteur décès et Temporaire décès : application et tarification actuarielle	9
4.1	Contexte : sécurisation d'un prêt par une garantie décès	9
4.2	Assurance emprunteur décès : mécanisme et conditions d'application	9
4.2.1	Définition et objectif	9
4.2.2	Rôle de la quotité	9
4.2.3	Déclenchement du sinistre et indemnisation	9
4.3	Temporaire décès : définition et fonctionnement	10
4.3.1	Assurance « risque pur »	10
4.3.2	Usage dans l'assurance emprunteur	10
4.4	Base actuarielle : mortalité, tables et probabilités	10
4.4.1	Notations usuelles	10
4.5	Tarification actuarielle : EPV (valeur actuelle espérée)	10
4.5.1	Principe	10
4.5.2	Cas d'un capital constant	10
4.5.3	Cas assurance emprunteur : capital = capital restant dû	10
4.5.4	Prime annuelle nivelée	11
4.5.5	Prime unique	11
4.6	Procédure “prête à coder” : appliquer l'assurance dans le pricing	11
5	Analyse des risques (modèle, défaut, mortalité)	12
5.1	Risque de modèle IA (banque / assurance)	12
5.2	Risque de défaut de l'emprunteur	12
5.3	Risque de modification de la mortalité	12

6	Implémentation Python et application	13
6.1	Architecture	13
6.2	Application (Web / mobile)	13
7	Conclusion	14
A	Annexes	16
A.1	Insertion des PDFs (optionnel)	16

Chapitre 1

Introduction et objectifs du projet

1.1 Contexte et motivation

L'assurance emprunteur occupe une place centrale dans l'écosystème du crédit, en particulier pour le financement immobilier. Son rôle est de **sécuriser le remboursement du prêt** en couvrant certains événements pouvant affecter la capacité de paiement de l'emprunteur, notamment le **décès**. Cette garantie protège à la fois la banque (réduction du risque de non-remboursement et stabilisation du portefeuille de crédits) et l'emprunteur (protection des proches et limitation du transfert de dette en cas d'aléa grave).

Dans un montage standard, trois acteurs interagissent :

- **L'emprunteur**, qui contracte un prêt pour financer un projet (souvent immobilier) et souscrit une assurance adossée au crédit ;
- **L'établissement prêteur**, qui distribue le crédit et impose généralement une couverture minimale afin de maîtriser son exposition au risque ;
- **L'assureur** (filiale bancaire ou compagnie externe), qui porte le risque biométrique et indemnise la banque selon les conditions du contrat en cas de sinistre (décès, et parfois invalidité/incapacité selon les garanties).

Historiquement, la tarification de l'assurance emprunteur repose sur des approches actuariales classiques : tables de mortalité, probabilités de survie, actualisation financière et détermination d'une prime (annuelle ou unique) par équivalence actuarielle. Toutefois, l'évolution récente des usages et des données disponibles ouvre la voie à une intégration croissante de l'**Intelligence Artificielle (IA)** dans la chaîne de valeur : amélioration des estimations (par exemple, la valeur d'un bien immobilier), automatisation des processus, segmentation plus fine des profils et évaluation plus dynamique du risque.

Dans ce contexte, ce projet s'inscrit à l'intersection de l'actuariat, de la finance et de l'IA. L'idée directrice est de construire un cadre cohérent permettant : (i) de **modéliser et estimer** les composantes économiques d'un prêt immobilier, (ii) de **formaliser** le pricing actuariel de la garantie décès, (iii) d'**analyser** l'impact des erreurs de modèle et des chocs de risque sur la banque et l'assureur, et (iv) de **prototyper** une implémentation opérationnelle en Python.

1.2 Problématique

La problématique générale de ce mémoire peut être formulée ainsi :

Comment intégrer des modèles d'Intelligence Artificielle dans un cadre actuariel de tarification de l'assurance emprunteur, tout en maîtrisant les risques associés (risque de modèle, risque de défaut, risque de mortalité) et en assurant une cohérence économique entre valeur du bien, structure du prêt et coût de la couverture décès ?

Cette question implique de relier des éléments de nature différente : prédiction (IA), calculs financiers (amortissement, capital restant dû), probabilités biométriques (mortalité) et actualisation (valeur temps de l'argent). Elle impose également une réflexion sur la robustesse : les modèles d'IA, bien que performants, introduisent un **risque de modèle** susceptible d'impacter la décision de crédit, le profil de risque du portefeuille et, indirectement, la tarification et la rentabilité.

1.3 Objectifs scientifiques et livrables

L'objectif du projet est de proposer une approche structurée et reproductible couvrant l'ensemble de la chaîne : de l'estimation de la valeur d'un bien immobilier à la tarification de la garantie décès et à l'étude des risques. Les livrables attendus sont organisés autour des axes suivants :

- **Modèle d'IA pour l'évaluation immobilière** : constitution/description d'une base de biens (caractéristiques, localisation, surface, etc.), préparation des données, apprentissage d'un modèle de prédiction de prix, évaluation via des métriques adaptées (MAE, RMSE) et analyse d'interprétabilité (importance des variables, contributions locales).
- **Formalisation du prêt immobilier** : mise en place des formules théoriques permettant de construire un tableau d'amortissement (échéances, intérêts, amortissement du principal), calcul du **capital restant dû** à chaque date, et illustration sur des scénarios réalistes.
- **Tarification actuarielle de l'assurance emprunteur décès** : définition de la garantie, modélisation via tables de mortalité (q_x , probabilités de survie), construction de la **valeur actuelle espérée** des prestations (EPV), puis détermination des primes (annuelles nivelées ou prime unique), avec discussion des hypothèses et des conventions de paiement.
- **Analyse du risque de modèle (IA) et impacts économiques** : étude de l'effet d'une erreur de prédiction de prix sur les indicateurs de crédit (ex. ratio LTV), sur la décision d'octroi, et sur la rentabilité/risque du portefeuille ; proposition de stress tests et d'indicateurs de robustesse.
- **Analyse des risques de défaut et de mortalité** : scénarios de choc sur le défaut de l'emprunteur et sur la mortalité (déviations des q_x), mesure de sensibilité des cashflows bancaires et de la charge sinistre assureur, discussion des conséquences en termes de pricing et de capital économique.
- **Implémentation Python et prototype applicatif** : développement d'un code modulaire en Python (pipeline données, modèle IA, module amortissement, module pricing décès, analyse de sensibilité) et proposition d'une application de démonstration (interface web/mobile) permettant de saisir un profil et d'obtenir des résultats (prix estimé, tableau d'amortissement, prime d'assurance, analyses de risques).

1.4 Organisation du mémoire

Le mémoire est structuré de la manière suivante :

- Le **Chapitre 2** présente le cadre IA d'évaluation immobilière (données, modèle, validation, interprétabilité).
- Le **Chapitre 3** formalise le prêt immobilier et la construction du tableau d'amortissement ainsi que du capital restant dû.
- Le **Chapitre 4** détaille la garantie décès et la tarification actuarielle (temporaire décès, tables de mortalité, EPV, primes).
- Le **Chapitre 5** développe l'analyse des risques (risque de modèle, défaut, mortalité) et des scénarios de stress.

- Le **Chapitre 6** décrit l'implémentation Python et le prototype applicatif.
- Le **Chapitre 7** conclut et propose des perspectives d'amélioration (monitoring, drift, robustesse, extensions garanties).

Chapitre 2

Évaluation immobilière par IA (cadre méthodologique)

2.1 Données et préparation

2.2 Modèle et métriques

2.3 Exploitation du modèle et interprétabilité

Chapitre 3

Prêt immobilier : amortissement et capital restant dû

3.1 Notations

Afin de formaliser l'échéancier d'un prêt immobilier et de pouvoir ensuite intégrer une assurance emprunteur (dont la prestation dépend souvent du capital restant dû), on introduit les notations suivantes. On note :

- L : montant initial emprunté (capital au temps 0),
- n : nombre total de périodes de remboursement (en années ou en mois selon la convention retenue),
- r : taux d'intérêt par période (attention : si le taux annuel est R , alors typiquement $r = R/12$ en mensualisation, sous hypothèse proportionnelle),
- A : montant de l'échéance constante (annuité / mensualité) comprenant intérêts et amortissement du principal,
- k : indice de période, avec $k = 1$ pour la première échéance et $k = n$ pour la dernière.

Dans ce chapitre, on se place dans le cadre standard d'un prêt amortissable à échéances constantes (méthode la plus courante en pratique). Cette formalisation permettra de construire le **tableau d'amortissement** et d'exprimer le **capital restant dû** à chaque date, éléments indispensables pour le pricing de l'assurance décès adossée au crédit.

3.2 Échéance constante

Sous l'hypothèse d'échéances constantes payées en fin de période, l'échéance A est déterminée de façon à amortir totalement le capital L sur n périodes, au taux r . On obtient la formule classique :

$$A = L \frac{r}{1 - (1 + r)^{-n}}.$$

Cette expression résulte de l'égalité entre le capital initial L et la valeur actuelle des flux de remboursement $\{A\}_{k=1,\dots,n}$. Elle montre notamment que, à taux r et durée n fixés, une augmentation de L entraîne une augmentation proportionnelle de A , tandis qu'une augmentation de r ou de n modifie la structure du coût total du crédit.

3.3 Capital restant dû

Le **capital restant dû** (CRD) représente le montant du principal qu'il reste à rembourser après un certain nombre d'échéances. C'est une grandeur déterminante pour :

- mesurer l'exposition de la banque au fil du temps,
 - construire les cashflows économiques du crédit,
 - tarifier l'assurance emprunteur lorsque la prestation en cas de décès est indexée sur le CRD .
- Après k paiements (en fin de période k), le capital restant dû s'écrit :

$$CRD_k = L(1+r)^k - A \frac{(1+r)^k - 1}{r}.$$

Cette formule est équivalente à une récurrence simple :

$$CRD_k = CRD_{k-1}(1+r) - A, \quad \text{avec } CRD_0 = L,$$

ce qui est particulièrement utile pour une implémentation numérique (ex. génération du tableau d'amortissement).

Chapitre 4

Assurance emprunteur décès et Temporaire décès : application et tarification actuarielle

4.1 Contexte : sécurisation d'un prêt par une garantie décès

Dans un prêt bancaire (notamment immobilier), la banque cherche à se protéger contre le risque de non-remboursement lié au décès de l'emprunteur. L'assurance emprunteur décès garantit qu'en cas de décès avant l'échéance, l'assureur rembourse à la banque le capital restant dû (totalement ou partiellement selon la quotité assurée).

Deux notions sont au cœur de cette couverture :

- **Assurance emprunteur décès** : le montage assurantiel adossé au prêt (bénéficiaire = banque).
- **Temporaire décès** : produit de prévoyance sous-jacent, couvrant le décès sur une durée déterminée, sans composante d'épargne.

4.2 Assurance emprunteur décès : mécanisme et conditions d'application

4.2.1 Définition et objectif

L'assurance emprunteur décès vise à garantir qu'en cas de décès de l'emprunteur pendant la durée du crédit, le **capital restant dû** soit pris en charge par l'assureur.

4.2.2 Rôle de la quotité

La **quotité** correspond à la part du prêt couverte par l'assurance :

- Emprunteur unique : souvent 100%,
- Co-emprunteurs : répartition possible (50/50, 70/30) ou doublage (100/100).

On note $\alpha \in [0, 1]$ la quotité assurée pour l'assuré ($\alpha = 1$ signifie 100%).

4.2.3 Déclenchement du sinistre et indemnisation

L'assurance s'applique si le contrat est en vigueur, les cotisations sont à jour, et si le décès n'entre pas dans les exclusions éventuelles. La prestation versée correspond typiquement au capital restant dû à la date du décès, multiplié par α .

4.3 Temporaire décès : définition et fonctionnement

4.3.1 Assurance « risque pur »

La **temporaire décès** verse un capital (ou une rente) si l'assuré décède pendant une période de couverture prédéfinie. Il n'y a pas de composante d'épargne : si l'assuré est vivant à l'échéance, il n'y a pas de versement.

4.3.2 Usage dans l'assurance emprunteur

Pour un prêt, la durée de la garantie est en général alignée sur la durée du crédit et le capital assuré est souvent indexé sur le *CRD*.

4.4 Base actuarielle : mortalité, tables et probabilités

4.4.1 Notations usuelles

Pour un assuré âgé de x à la souscription :

- q_{x+k} : probabilité de décéder entre $x+k$ et $x+k+1$,
- $p_{x+k} = 1 - q_{x+k}$: probabilité de survivre un an,
- ${}_k p_x = \prod_{j=0}^{k-1} p_{x+j}$: probabilité de survivre k ans.

La probabilité de décès au cours de l'année k est :

$$\mathbb{P}(T \in (k-1, k]) = {}_{k-1} p_x q_{x+k-1}.$$

4.5 Tarification actuarielle : EPV (valeur actuelle espérée)

4.5.1 Principe

On note i le taux d'actualisation annuel et $v = \frac{1}{1+i}$. Si B_k est la prestation versée si le décès survient durant l'année k , alors :

$$\text{EPV} = \sum_{k=1}^n v^k {}_{k-1} p_x q_{x+k-1} B_k.$$

4.5.2 Cas d'un capital constant

Si $B_k = C$:

$$\text{EPV} = C \sum_{k=1}^n v^k {}_{k-1} p_x q_{x+k-1}.$$

4.5.3 Cas assurance emprunteur : capital = capital restant dû

Dans l'assurance emprunteur décès, on prend :

$$B_k = \alpha \text{CRD}_k,$$

et donc :

$$\text{EPV} = \sum_{k=1}^n v^k {}_{k-1} p_x q_{x+k-1} \alpha \text{CRD}_k.$$

4.5.4 Prime annuelle nivelée

Si la prime annuelle P est payée tant que l'assuré est vivant (en début d'année, convention simple) :

$$\text{EPV}_{\text{prem}} = P \sum_{k=0}^{n-1} v^k {}_k p_x,$$

et par équivalence actuarielle (prime pure) :

$$P = \frac{\text{EPV}}{\sum_{k=0}^{n-1} v^k {}_k p_x}.$$

4.5.5 Prime unique

En prime pure :

$$\Pi = \text{EPV}.$$

4.6 Procédure “prête à coder” : appliquer l’assurance dans le pricing

1. Fixer le profil : âge x , sexe, durée n , quotité α .
2. Choisir une table de mortalité (TH/TF, tables emprunteur si disponibles).
3. Construire l'échéancier du prêt : CRD_k .
4. Calculer ${}_{k-1}p_x$ et q_{x+k-1} .
5. Calculer EPV : $\sum v^k {}_{k-1}p_x q_{x+k-1} \alpha CRD_k$.
6. En déduire la prime (annuelle ou unique), puis ajouter chargements (frais/marge).

Chapitre 5

Analyse des risques (modèle, défaut, mortalité)

5.1 Risque de modèle IA (banque / assurance)

5.2 Risque de défaut de l'emprunteur

5.3 Risque de modification de la mortalité

Chapitre 6

Implémentation Python et application

6.1 Architecture

6.2 Application (Web / mobile)

Chapitre 7

Conclusion

Bibliographie

Annexe A

Annexes

A.1 Insertion des PDFs (optionnel)