

Scénarisation des tonnages de déchets à l’horizon 2050

**Outil de scénarisation des tonnages de déchets à l’horizon
2050 pour la MEL: baseline forecasting par catégorie,
trajectoire cible 2030 et stratégies -focus déchets dangereux**

Rodrigo Driemeier dos Santos

École Centrale de Lille

02/06/2026

Sommaire

1. Contexte et objectifs	3
2. Données, périmètre et hypothèses (proxy France → MEL)	4
3. Validation de la généralisabilité (France vs Hauts-de-France – TVD)	5
4. Méthodologie de modélisation (baseline forecasting)	6
5. Projections BAU 2022–2050 et lecture des résultats (dont focus déchets dangereux)	7
6. Intégration de l’objectif 2030 (–15%) et scénarios post-2030	8
7. Stratégies opérationnelles – focus DDS / déchets dangereux	12
8. Limites, incertitudes et pistes d’amélioration	13
9. Conclusion	14
10. Références	15

1. Contexte et objectifs

Ce travail s'inscrit dans un challenge mené en groupe avec la Métropole Européenne de Lille (MEL), visant à produire des éléments d'aide à la décision sur l'évolution des tonnages de déchets à moyen et long terme. L'exercice a une finalité pragmatique : fournir une base chiffrée cohérente pour discuter dimensionnement, organisation des filières et priorisation d'actions, plutôt que livrer une "prévision exacte" au sens causal. Dans notre groupe, j'ai pris en charge seul le volet modélisation (baseline forecasting) ainsi que la construction de scénarios et la formulation de stratégies directement dérivées des projections.

L'objectif principal est donc de construire un outil de scénarisation à l'horizon 2050 : (i) établir une trajectoire de référence BAU (Business As Usual) par catégorie, (ii) intégrer explicitement un objectif de politique publique -15% en 2030, puis (iii) encadrer l'après-2030 via deux scénarios contrastés. Un focus spécifique est mis sur les déchets dangereux (DDS), car leur gestion est fortement contrainte (réglementation, sécurité, traçabilité, filières agréées, coûts) et une croissance, même modérée en tonnage total, peut devenir structurante pour l'organisation et les investissements.

2. Données, périmètre et hypothèses (proxy France → MEL)

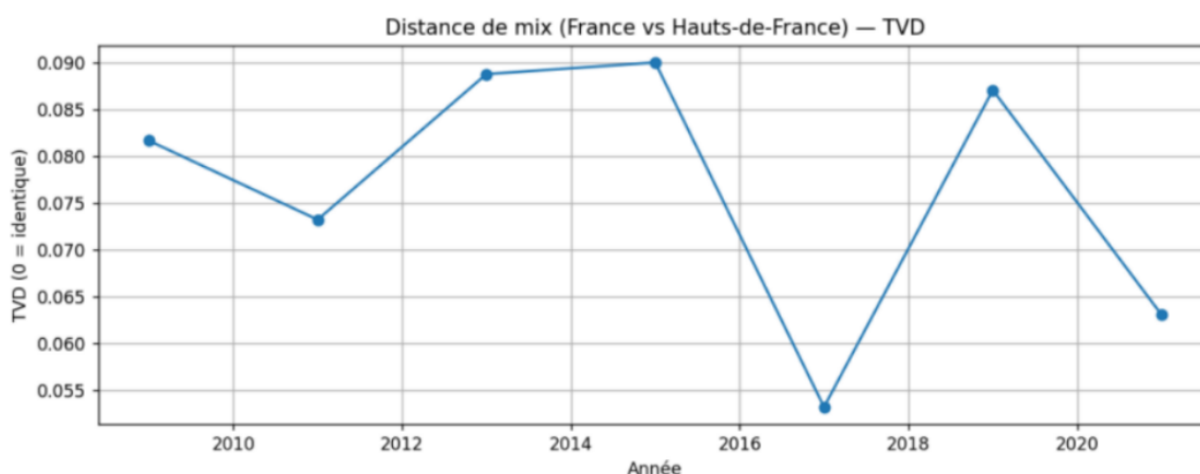
La modélisation repose sur des séries historiques de tonnages par catégorie de déchet, à l'échelle nationale, issues de la base SINOE (ADEME). L'objectif étant de raisonner à l'échelle MEL, et les données strictement locales n'étant pas suffisamment longues/complètes pour calibrer et valider un modèle fiable, l'approche consiste à utiliser une trajectoire France comme proxy de tendance, puis à la convertir en ordre de grandeur MEL.

Cette conversion s'appuie sur une hypothèse volontairement simple : la normalisation démographique. On estime un tonnage MEL à partir d'un tonnage France en multipliant par le ratio $\frac{Pop_{MEL}}{Pop_{France}}$. Cette hypothèse ne prétend pas capturer les facteurs locaux (structure socio-économique, habitat, tourisme, flux intercommunaux, comportements, politiques locales), mais permet de transformer des trajectoires nationales en séries MEL cohérentes, utilisables pour la scénarisation et la discussion opérationnelle. La population France est interpolée sur les années manquantes et prolongée selon des scénarios considérées.

3. Validation de la généralisabilité (France vs Hauts-de-France - TVD)

Avant d'utiliser un proxy national pour raisonner sur la MEL, il est nécessaire de vérifier que la structure des catégories n'est pas radicalement différente à l'échelle régionale. Une comparaison France vs Hauts-de-France est réalisée via la TVD (Total Variation Distance) appliquée aux distributions de catégories : on compare, année par année, la répartition relative des tonnages par catégorie, plutôt que les volumes absolus.

Un TVD faible indique que, même si les niveaux de tonnage diffèrent, la composition du gisement par catégories reste proche, ce qui soutient l'usage du proxy pour un raisonnement "ordre de grandeur" et non pour une estimation locale fine. Dans le document final, on insère le graphique TVD (repris du rapport initial) pour justifier explicitement l'hypothèse de généralisabilité, tout en rappelant que cette vérification ne remplace pas une validation locale complète.



Le graphique montre que la TVD reste globalement faible sur la période observée (de l'ordre de quelques points), ce qui indique une proximité de structure entre la répartition des catégories de déchets en France et en Hauts-de-France. Autrement dit, même si les volumes absolus peuvent différer, le "mix" par catégories est relativement stable à l'échelle régionale, ce qui rend l'usage d'un proxy national raisonnable pour une analyse en ordre de grandeur et pour la construction de scénarios. Cette vérification ne supprime toutefois pas les biais locaux possibles : elle justifie l'approche de scénarisation, mais invite à interpréter les résultats avec prudence et à privilégier des fourchettes plutôt qu'un chiffre unique.

4. Méthodologie de modélisation (baseline forecasting)

La démarche de modélisation est volontairement parcimonieuse et interprétable, car les variables explicatives disponibles sont limitées. Pour chaque catégorie, on ajuste un modèle de type régression (Linear Regression, Ridge, Lasso) utilisant uniquement deux features : ANNEE (tendance temporelle) et POP_FR (proxy macro démographique). L'objectif est de capturer une dynamique moyenne et stable, adaptée à une projection de référence, plutôt que d'optimiser une précision illusoire en absence de vrais drivers (activité économique, construction, prix, réglementation fine, etc.).

La sélection de modèle/hyperparamètres respecte strictement la temporalité via TimeSeriesSplit (validation croisée chronologique). Les performances sont évaluées en MAE et MAPE, avec une séparation explicite du dernier point historique comme test (par catégorie). Pour qualifier la robustesse, un backtesting walk-forward sur quelques dernières années est calculé, permettant de reporter une moyenne et une dispersion d'erreur, utile pour cadrer l'incertitude.

Enfin, pour rendre l'outil plus défendable en planification, on ajoute deux éléments : (i) une sensibilité population (scénarios de population : maintien, croissance faible, croissance plus forte) afin de tester l'impact d'une hypothèse macro sur les trajectoires ; (ii) des bandes d'incertitude simples (intervalle de prédiction 5–95% par bootstrap résiduel) qui traduisent le fait que la projection est une fourchette et non une valeur certaine.

5. Projections BAU 2022–2050 et lecture des résultats (dont focus déchets dangereux)

La sortie principale du pipeline est une trajectoire BAU (Business As Usual) de 2022 à 2050, calculée par catégorie puis agrégée en total. Les figures à insérer sont : (i) total MEL normalisé (historique + BAU), (ii) courbes par catégories, et (optionnel) (iii) bandes d'incertitude 5–95% et scénarios de population.

La lecture des résultats doit être faite en deux niveaux. D'une part, le niveau macro (total) sert à discuter la charge globale et les ordres de grandeur. D'autre part, le niveau par catégories est souvent plus important opérationnellement : certaines catégories peuvent avoir des dynamiques contrastées, donc générer des besoins spécifiques en filières, en équipements, en contrôle qualité et en coûts.

Le focus déchets dangereux (DDS) est central dans ce document : même si ces flux ne dominent pas le tonnage total, leur gestion impose des contraintes fortes (sécurité, stockage, filières agréées, traçabilité) et des coûts unitaires élevés. Une augmentation projetée des DDS, même en “ordre de grandeur”, implique des décisions concrètes (organisation de la collecte, modules dédiés, formation, partenariats filières, pilotage). Les graphiques dédiés DDS (courbe MEL normalisée, comparaison BAU vs scénarios) doivent donc être mis en avant comme un signal stratégique, pas seulement comme une courbe parmi d'autres.

6. Intégration de l'objectif 2030 (–15%) et scénarios post-2030

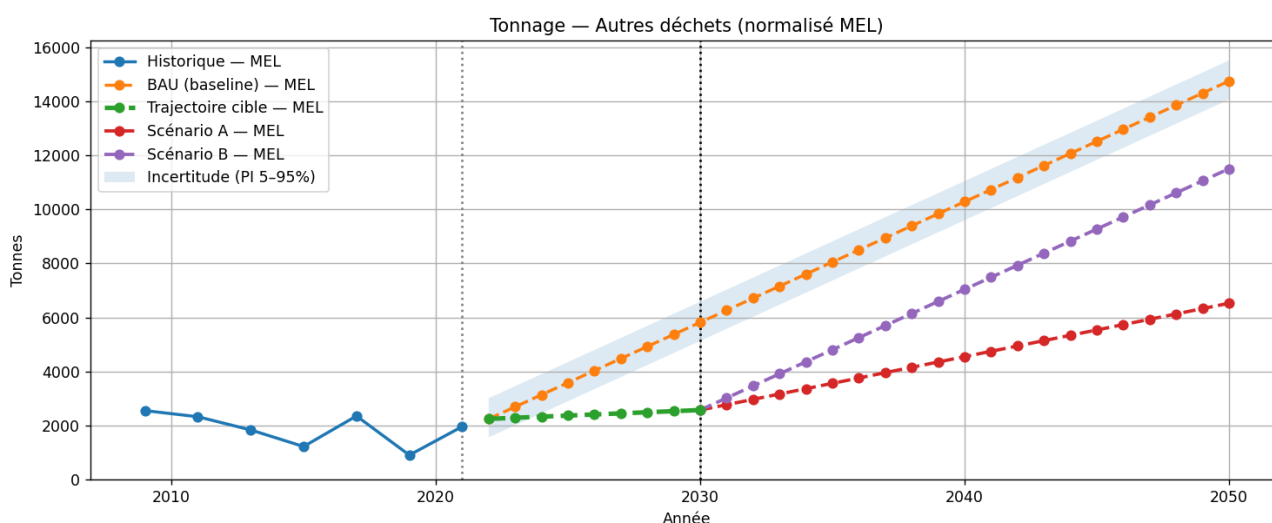
À partir du BAU, on impose une contrainte de politique publique : –15% en 2030. L'idée n'est pas de "faire apprendre" la politique au modèle, mais de transformer la trajectoire de référence en trajectoires compatibles avec un objectif, ce qui correspond à un usage typique en planification.

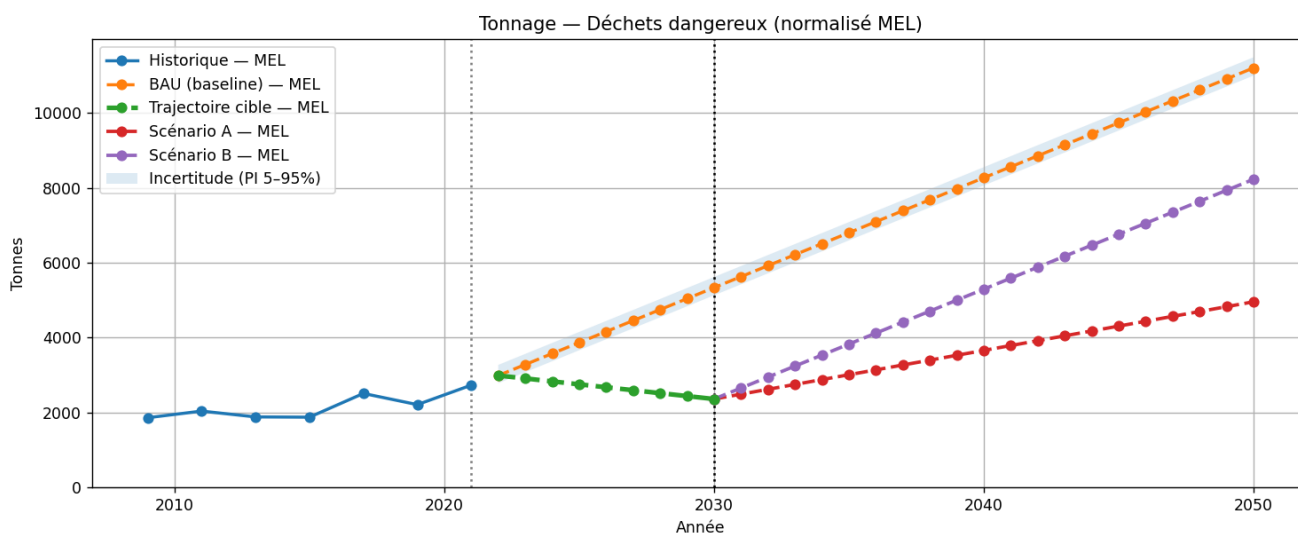
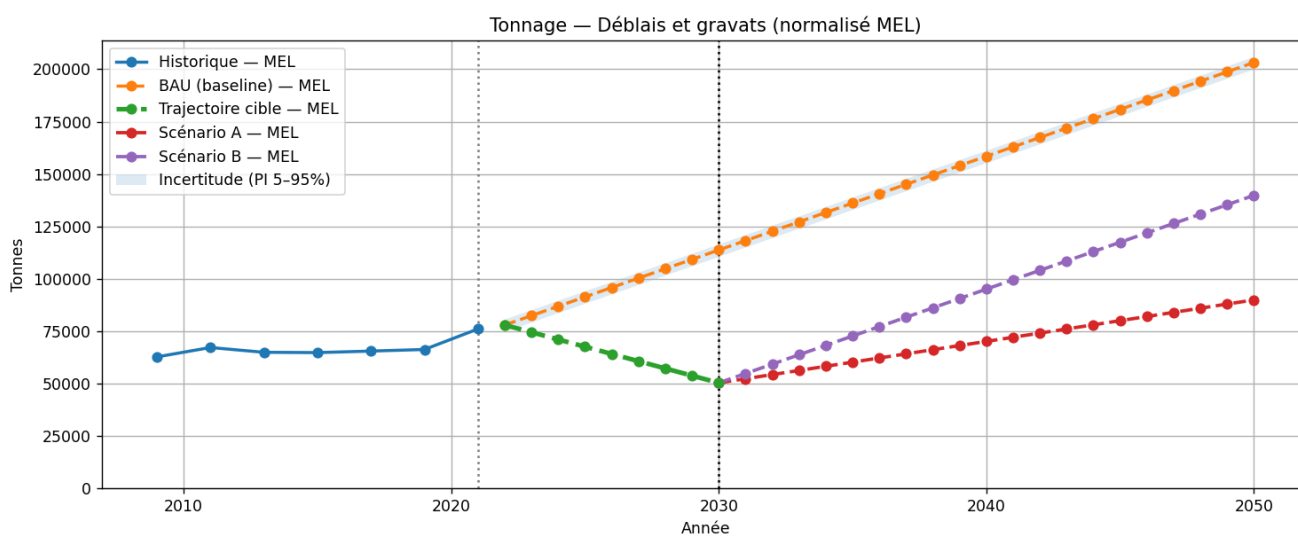
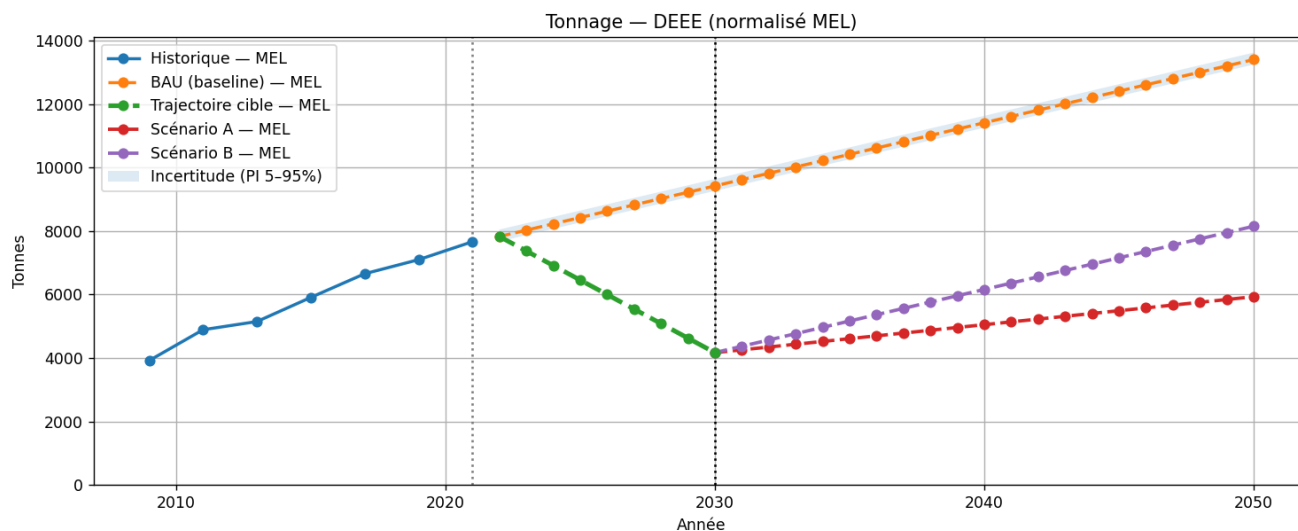
Concrètement, on définit une valeur cible en 2030, puis on construit une trajectoire 2022→2030 qui relie le premier point de prévision à cette cible (interpolation linéaire par catégorie). On obtient ainsi une trajectoire "cible" jusqu'en 2030, cohérente et lisible.

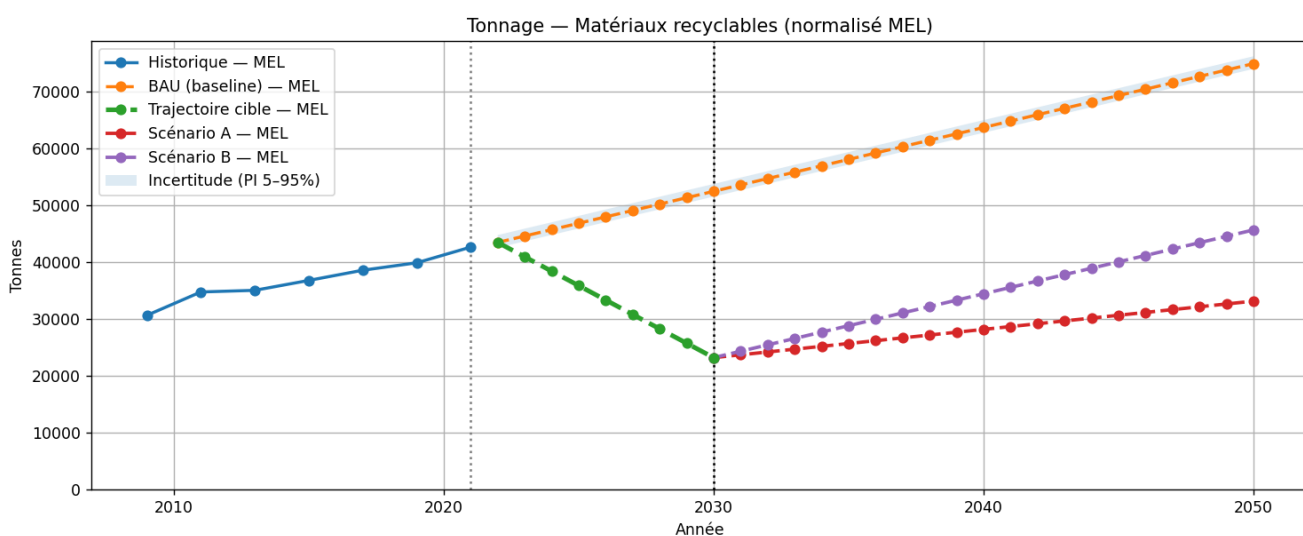
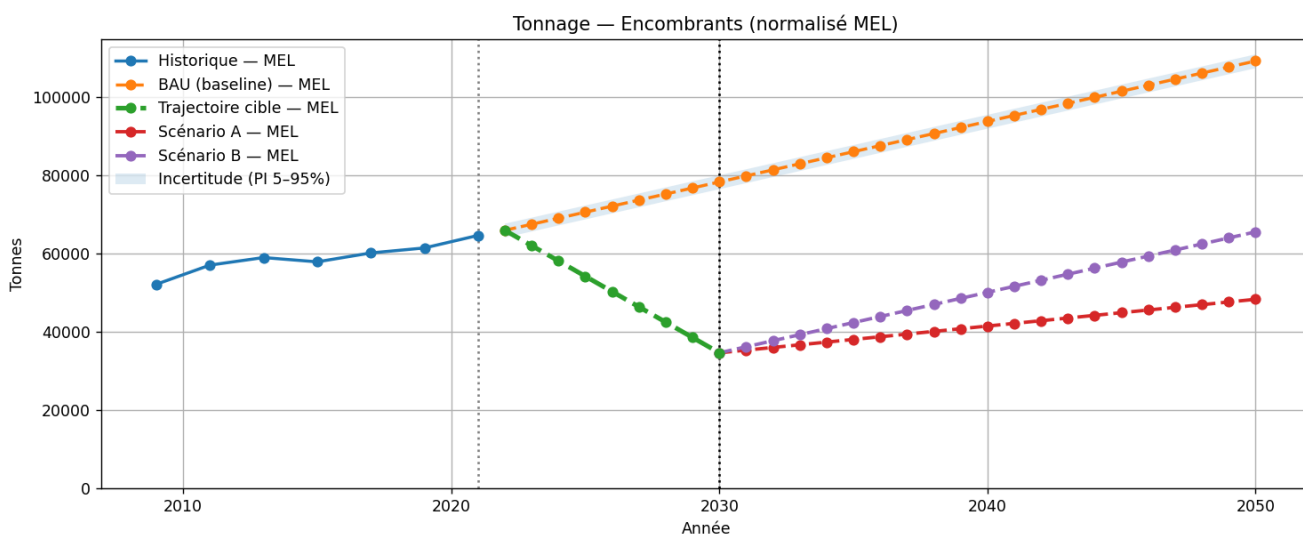
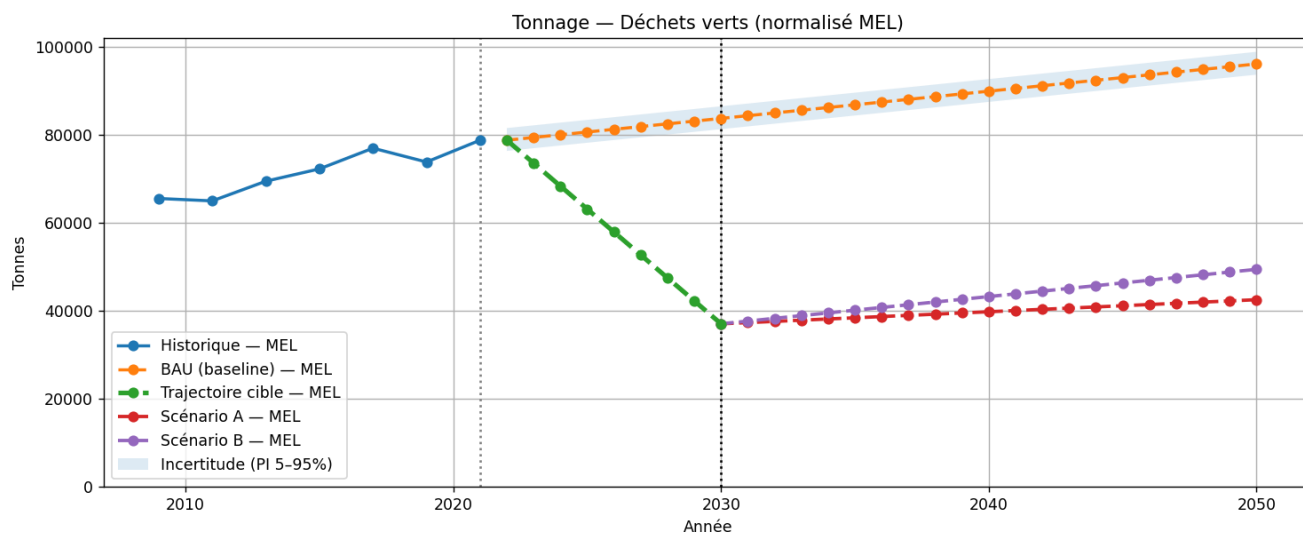
Après 2030, deux scénarios encadrent l'incertitude sur la durabilité de l'effort :

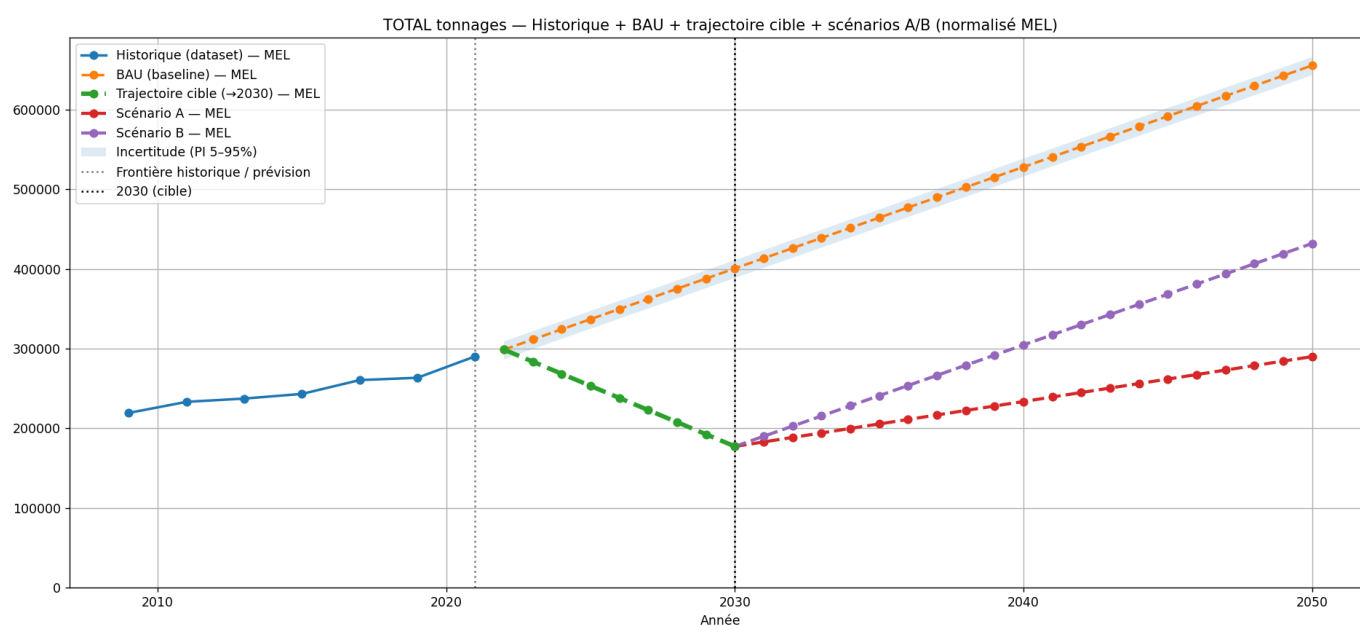
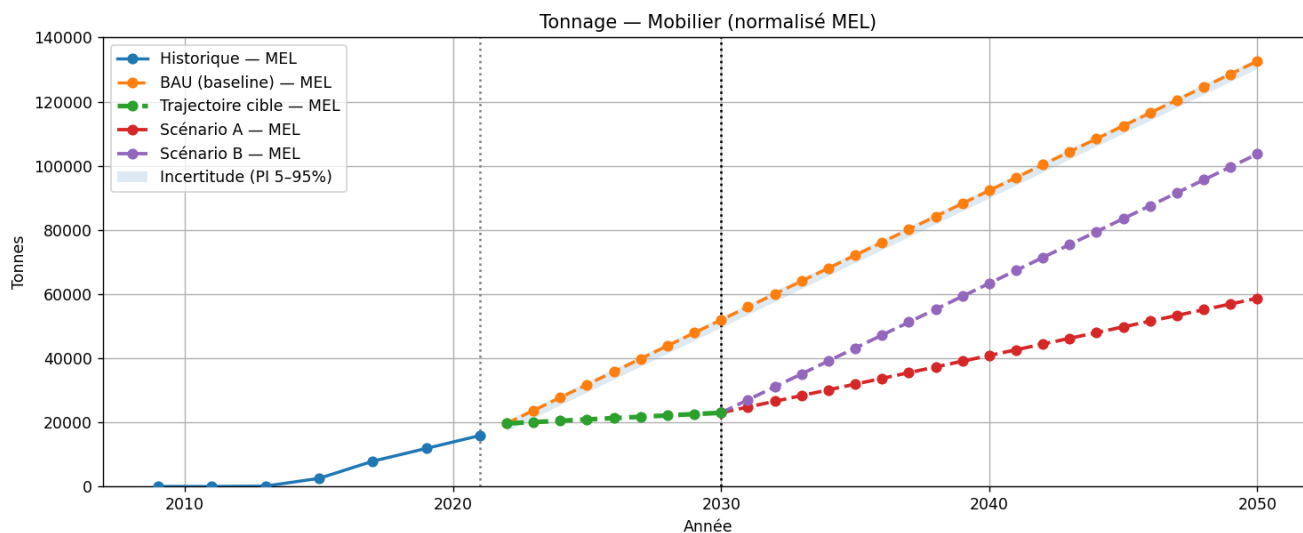
- **Scénario A** (effet durable) : la trajectoire BAU est recalée après 2030 (même "forme" que BAU, mais à un niveau compatible avec la cible atteinte), ce qui représente un maintien structurel de l'effort politique/réglementaire.
- **Scénario B** (effet partiellement transitoire) : on repart de la cible 2030 mais avec une dynamique proche du BAU (on conserve la pente/variation BAU), ce qui représente une remontée progressive si l'effort n'est pas totalement maintenu.

Ces deux scénarios servent de cadre : ils ne disent pas "ce qui va arriver", mais "ce qui pourrait arriver" selon la persistance des politiques et des comportements. Vous trouverez ci-dessous les graphiques détaillés par type de déchet, présentant la trajectoire BAU, la trajectoire cible (–15% en 2030) et les scénarios A/B jusqu'en 2050, après normalisation à l'échelle MEL.









Dans l'ensemble, ces courbes montrent que l'effet de la contrainte 2030 se traduit par un décalage durable des trajectoires (scénario A) ou par une réaccélération progressive après 2030 (scénario B), avec des intensités variables selon les catégories. La lecture par catégories est essentielle : au-delà du total, certains flux deviennent rapidement structurants du point de vue opérationnel. En particulier, l'évolution des déchets dangereux (DDS) ressort comme un signal prioritaire : même si ce flux ne domine pas le tonnage global, il concentre des contraintes fortes (sécurité, filières agréées, traçabilité et coûts) et peut donc imposer des choix d'organisation et de dimensionnement disproportionnés par rapport à son volume. Pour cette raison, la section suivante développe spécifiquement des stratégies dédiées aux DDS, construites à partir des trajectoires observées.

7. Stratégies opérationnelles – focus DDS / déchets dangereux

Les stratégies proposées sont directement dérivées des trajectoires et visent à transformer un signal (augmentation ou contrainte DDS) en actions concrètes. L'objectif n'est pas de lister des "bonnes idées" génériques, mais de proposer des mesures alignées avec les contraintes DDS : captation, séparation à la source, sécurité, traçabilité et pilotage.

- Axe 1 - Captation et réduction des erreurs de tri : déployer des points de collecte DDS de proximité (en complément des déchèteries) afin de réduire les dépôts inadaptés et augmenter la qualité de tri. L'enjeu est de diminuer les mélanges et de sécuriser la chaîne aval.
- Axe 2 - Traçabilité et pilotage : mettre en place un tableau de bord DDS (mensuel) et un suivi de flux permettant de détecter des ruptures, d'évaluer l'efficacité des actions, et d'anticiper les besoins en filières. La traçabilité est un multiplicateur d'efficacité : sans mesure fiable, on subit la dynamique au lieu de la piloter.
- Axe 3 - Infrastructures dédiées en déchèterie : déployer des modules DDS dédiés (stockage séparé, signalétique, procédures) afin de limiter les risques, améliorer la conformité réglementaire et réduire les coûts induits par les erreurs de tri.
- Axe 4 - Prévention et sensibilisation ciblée : campagnes sur les produits dangereux, substitution, ateliers de prévention et actions ciblées sur les flux DDS les plus problématiques. L'objectif est de réduire la production DDS à la source et d'améliorer la qualité de retour.

Enfin, une roadmap permet d'articuler court/moyen/long terme : actions pilotes et instrumentation avant 2030 (atteinte cible), extension et industrialisation 2030–2040, puis optimisation/automatisation 2040-2050.

8. Limites, incertitudes et pistes d'amélioration

La première limite est structurelle : les features disponibles (temps + population) capturent une tendance moyenne mais ne modélisent pas les drivers causaux. Il faut donc lire les résultats comme des trajectoires de référence et des fourchettes, et non comme des valeurs exactes.

La seconde limite concerne le transfert d'échelle France → MEL : la normalisation par population est une approximation. Même si la comparaison de structure (TVD) suggère une cohérence régionale, des biais locaux peuvent persister (composition socio-éco, habitat, politiques locales, flux intercommunaux). Cela justifie l'usage d'intervalles et de scénarios, et non d'un unique chiffre.

Enfin, plusieurs améliorations sont possibles : intégrer des variables explicatives (construction/BTP pour inertes, saisonnalité pour verts, indicateurs socio-éco, politiques locales, prix/contraintes filières), récupérer des séries locales plus riches pour calibration/validation, et ajouter une modélisation de changements de régime (ruptures réglementaires, chocs).

9. Conclusion

Ce travail produit un outil de scénarisation des tonnages de déchets à horizon 2050 pour la MEL : un baseline forecasting par catégorie validé temporellement, converti en ordre de grandeur MEL via normalisation démographique, enrichi par une cible 2030 (–15%) et deux scénarios post-2030 encadrant la durabilité de l’effort. L’analyse met en évidence l’intérêt d’une lecture par catégories et justifie un focus opérationnel sur les déchets dangereux (DDS), dont la gestion, fortement contrainte, peut devenir structurante pour l’organisation, la conformité et les coûts.

L’intérêt principal n’est pas de “deviner le futur”, mais de disposer d’un cadre clair pour planifier : comprendre les ordres de grandeur, mesurer l’écart à une cible, et décliner des actions concrètes (collecte, infrastructures dédiées, traçabilité, pilotage, prévention) compatibles avec les contraintes DDS et les enjeux publics.

10. Références

- ADEME — SINOE : base nationale de suivi des déchets (séries de tonnages par catégories).
- INSEE — Populations légales / séries annuelles : population France utilisée pour normalisation et scénarios démographiques.
- Documents publics de politique déchets / objectifs de réduction (cadres nationaux/locaux) : justification des trajectoires cibles et de l’interprétation “scénarios”.