

PROGRAMME RÉSILIENCE 2045

Logistique d'approvisionnement en biomasse d'un site de pyrogazéification — Version
2

COMMENT ALIMENTER UN SITE EN CONTINU

Ramassage, stockage tampon, organisation contractuelle

Étude de cas — Site type 1 000 t/j en Normandie

Version 2.0 — Juin 2026 — Révisée suite à analyse critique externe (ChatGPT GPT-4o)
Sources : DRAAF Normandie, Chambres d'agriculture de Normandie, ARPE Normandie, IGN, Biomasse
Normandie, CIBE

Introduction — Le problème logistique, vrai talon d'Achille des projets biomasse

Un site de pyrogazéification de 1 000 t/j consomme **environ 330 000 tonnes de biomasse sèche par an** pour fonctionner 330 jours/an. Cette consommation doit être **continue**, alors que la production de biomasse — qu'elle soit forestière, bocagère ou agricole — est par nature **saisonnaire, dispersée géographiquement, et entre les mains de milliers de propriétaires différents**. C'est l'écart entre ces deux réalités — une demande industrielle continue contre une offre rurale fragmentée et saisonnière — qui a fait échouer une partie significative des projets de biomasse industrielle en Europe au cours des vingt dernières années, bien avant que les questions de procédé thermo-chimique ne se posent.

Ce document examine comment ce problème peut être résolu concrètement, en prenant la **Normandie** comme cas d'étude — une région choisie parce qu'elle combine les trois types de gisements mobilisables par Programme Résilience (forêt, bocage, résidus de grandes cultures) dans des proportions représentatives de la France de l'Ouest, et parce qu'elle dispose de retours d'expérience documentés sur la structuration de filières bois-énergie territoriales (Biomasse Normandie, Chambres d'agriculture de Normandie).

1. Le gisement normand — Trois sources, trois saisonnalités

La Normandie présente un profil agro-forestier propice à une logistique multi-source : c'est une région bocagère par excellence (123 400 km de haies), céréalière sur ses plateaux limoneux (5 Mt de céréales/an), et dotée d'un massif forestier significatif quoique morcelé. Ce triptyque est précisément ce qui permet de lisser l'approvisionnement sur l'année — chaque source ayant sa propre fenêtre de récolte.

1.1 Le bocage — La ressource la plus régulière dans le temps

Avec **123 400 km de haies** en Basse-Normandie seule (densité de 53 m/ha, contre 27 m/ha en moyenne nationale), le bocage normand représente le gisement le plus stable et le mieux réparti géographiquement. Les études régionales (« Haie Biomasse Basse-Normandie ») évaluent le **potentiel de bois supplémentaire mobilisable à environ 400 000 tonnes par an**, sur la seule ex-Basse-Normandie, avec 51 000 km de haies de cépées (taillis) déjà en gestion productive — soit 41 % du linéaire total.

Indicateur bocage normand	Valeur	Source / Remarque
Linéaire total de haies (Basse-Normandie)	123 400 km	Densité 53 m/ha — 2x la moyenne nationale (27 m/ha)
Linéaire en gestion productive (cépées)	51 000 km	41 % du linéaire total — déjà en filière bois-énergie
Production par km de haie	30–150 t/km	Sur cycle de 12–15 ans (cépée) — variable selon essence et conduite
Potentiel théorique additionnel (gisement brut)	~400 000 t/an	Étude « Haie Biomasse Basse-Normandie » 2010 — Chambres d'agriculture
Taux de mobilisation réaliste retenu	40–60 %	△ Estimation — refus de contractualisation, accès, sensibilité écologique (voir §1.1bis)
Gisement bocager mobilisable net (estimation)	160 000–240 000 t/an	Un appoint solide (≈ 50–70 % du besoin), pas une solution autonome

Indicateur bocage normand	Valeur	Source / Remarque
Tendance du linéaire	-1 200 km/an (Manche)	Arrachage net malgré plantations — fragilité à surveiller contractuellement

Tableau 1 — *Gisement bocager brut et mobilisable net en Basse-Normandie. Sources : Chambres d'agriculture de Normandie, GIEC Normand 2025, L'Agriculteur Normand.*

1.1bis — Pourquoi un gisement « théoriquement suffisant » ne l'est pas en pratique

Le gisement bocager brut (400 000 t/an) dépasse arithmétiquement le besoin du site (330 000 t/an) — ce qui pourrait suggérer que le bocage seul suffit. **Ce raisonnement est une erreur de méthode** : un gisement théorique n'est pas un gisement mobilisable. Trois facteurs réduisent systématiquement l'écart entre les deux, comme le confirment les retours d'expérience des filières bois-énergie bocagères déjà en place :

- **Taux de contractualisation** : sur du foncier privé fragmenté entre des centaines de propriétaires, l'expérience des filières bocagères existantes montre qu'une fraction significative des propriétaires sollicités ne signe pas (indisponibilité, réticence, gestion déjà engagée ailleurs) — un taux d'adhésion de 50 à 70 % est une hypothèse réaliste, pas un échec.
- **Accessibilité mécanique** : toutes les haies ne sont pas exploitables par les engins de récolte actuels (talus trop pentus, parcelles enclavées, haies hautes non mécanisables sans investissement spécifique).
- **Sensibilité écologique** : une partie du linéaire (haies multi-strates anciennes, corridors écologiques classés, abords de zones Natura 2000) doit être exclue ou soumise à un plan de gestion restrictif limitant la fréquence de prélèvement.

En appliquant un taux de mobilisation de **40 à 60 %** au gisement brut — cohérent avec les ordres de grandeur observés ailleurs en France sur des filières bocagères comparables — le **gisement bocager réellement mobilisable se situe entre 160 000 et 240 000 t/an**, soit 50 à 70 % du besoin du site. C'est un **appoint majeur, pas une solution autonome** — ce qui confirme, pour de meilleures raisons que la seule prudence de principe, la nécessité du mix à trois sources développé dans ce document.

⚠ Point critique : Le bocage normand recule structurellement (-21 000 km/an en France, rythme comparable en Normandie) sous l'effet du remembrement parcellaire continu, malgré les programmes de plantation. Un contrat d'approvisionnement basé sur le bocage doit impérativement intégrer une clause de reconstitution du linéaire prélevé — sans quoi le site contribuerait paradoxalement à l'épuisement de sa propre ressource long terme.

1.2 La forêt — Gisement complémentaire, exploitabilité contrastée

Le massif forestier bas-normand représente **22,8 millions de m³ de volume sur pied**, avec un besoin supplémentaire identifié par les plans régionaux de développement forestier de l'ordre de **310 000 m³/an de plaquettes** (dont 315 000 m³ issus de forêt et 75 000 m³ du bocage dans les objectifs du plan 2013–2017 — ordres de grandeur sensiblement inférieurs aux besoins d'un site Résilience, ce qui implique une mobilisation renforcée). Un point de vigilance documenté : sur 80 % de la surface des forêts privées bas-normandes, **l'infrastructure de desserte (chemins forestiers) doit être améliorée** pour permettre une exploitation mécanisée — un préalable d'investissement souvent sous-estimé dans les plans d'approvisionnement.

1.3 Les résidus de grandes cultures — Le complément saisonnier concentré

La Normandie produit en moyenne **1,9 million de tonnes de paille par an**, sur une surface céréalière de 472 000 ha de blé tendre auxquels s'ajoutent l'orge (120 000 ha) et le maïs (37 000

ha). Une étude de la filière construction paille (ARPE Normandie) évalue à **11 % la fraction excédentaire mobilisable sans tension d'usage** (au-delà des besoins en litière et amendement agricole), soit environ **210 000 tonnes/an** disponibles sans concurrence d'usage documentée.

Indicateur grandes cultures normandes	Valeur	Source / Remarque
Production céréalière totale	~5 Mt/an	3,6 Mt blé tendre + 0,9 Mt orge + 0,3 Mt maïs — Intercéréales
Production de paille totale	1,9 Mt/an	ARPE Normandie — usage principal agricole (litière, amendement)
Fraction excédentaire mobilisable	~11 % soit ~210 000 t/an	Sans tension d'usage selon étude filière construction paille
Fenêtre de récolte	Juillet–août	Concentrée sur 4 à 6 semaines — pic logistique majeur

Tableau 2 — Gisement paille mobilisable en Normandie. Sources : Intercéréales, ARPE Normandie, Agreste.

1.4 Synthèse du gisement régional vs besoin du site — en gisement mobilisable net

Contrairement au tableau de gisement brut souvent présenté dans les études de potentiel, le tableau ci-dessous applique un **taux de mobilisation réaliste** à chaque source, pour donner une image fidèle de ce qui est effectivement contractualisable — c'est cette colonne, et non le gisement théorique, qui doit servir de base à la décision de localisation d'un site.

Source	Gisement brut (théorique)	Taux mobilisation	Gisement net mobilisable	Fenêtre de récolte
Bocage (Basse-Normandie)	~400 000 t/an	40–60 %	160 000–240 000 t	Étalée — hors sève (oct.–mars)
Forêt (compléments rémanents)	~150 000–180 000 t	50–70 %	80 000–125 000 t	Étalée — pic oct.–mars (exploitation) — desserte limitante
Paille (excédent mobilisable)	~210 000 t/an	70–85 %	145 000–180 000 t	Concentrée — juillet/août — taux d'adhésion + élevé (réseau coopératif existant)
TOTAL NET MOBILISABLE	—		385 000–545 000 t	vs 330 000 t/an requis — marge de 17 % à 65 %

Tableau 3 — Synthèse comparée gisement net mobilisable / besoin du site type Résilience. Taux de mobilisation : estimations par analogie aux filières bois-énergie territoriales existantes, à affiner impérativement par étude SIG de terrain.

✓ **Conclusion** : Même en gisement net mobilisable (385 000 à 545 000 t/an estimées contre 330 000 t/an requis), la marge reste positive dans le scénario bas — mais elle est nettement plus étroite que ne le suggérerait le gisement brut. Cela confirme que les trois sources sont nécessaires simultanément : aucune ne peut être sacrifiée sans mettre en péril l'équilibre. La marge de 17 % en scénario bas est insuffisante pour absorber un aléa climatique majeur sans recourir à un complément d'urgence (voir §8, analyse de sensibilité).

2. Le calendrier de récolte — Lisser une offre saisonnière sur 330 jours

Le défi central n'est pas la quantité disponible sur l'année, mais sa **répartition dans le temps**. Chaque source a sa fenêtre optimale de récolte, et ces fenêtres ne coïncident pas — ce qui, bien orchestré, devient un **atout** : la complémentarité calendaire des trois sources permet de lisser l'approvisionnement sans recourir à un stockage géant.

Source	Automne (Sept-Nov)	Hiver (Déc-Fév)	Printemps (Mars-Mai)	Été (Juin-Août)	Pic	Logique agronomique
Bocage (élagage haies)	••	•••	•	—	Déc–Fév	Hors sève uniquement — protection faune nicheuse (mars interdit)
Forêt (rémanents)	•••	••	•	—	Oct–Déc	Suite des coupes de bois d'œuvre/industrie — sols portants en automne
Paille (excédent)	—	—	—	••••	Juil–Août	Moisson — fenêtre météo étroite, pic de collecte concentré 4-6 semaines

Tableau 4 — Calendrier saisonnier des trois sources de biomasse normandes. • = intensité de récolte relative.

◆ **Principe d'organisation** : La complémentarité calendaire est presque parfaite : la paille couvre l'été, la forêt couvre l'automne, le bocage couvre l'hiver. C'est cette structure naturelle — et non une prouesse d'ingénierie — qui permet d'envisager un stockage tampon dimensionné pour quelques mois plutôt que pour une année entière, réduisant d'autant le CAPEX de stockage.

3. Architecture logistique — Le modèle à trois niveaux

L'expérience documentée des filières bois-énergie territoriales françaises (Mayenne Bois Énergie, réseaux CUMA, plateformes ONF Énergie) converge vers un même principe : **aucun flux ne va directement du terrain au site industriel**. Un niveau intermédiaire — la plateforme logistique locale — est systématiquement nécessaire. Programme Résilience reprend ce principe à l'échelle d'un site de 1 000 t/j.

3.1 Niveau 1 — La collecte de proximité (rayon 25–35 km)

La collecte est assurée par des **entreprises de travaux agricoles, CUMA et exploitants forestiers locaux**, chacun restant dans son rayon d'action habituel. Aucun matériel nouveau majeur n'est requis : déchiqueteuses mobiles, presses à balles rondes/carrées, bennes agricoles — un parc déjà largement existant dans les bassins normands du fait de la filière bois-énergie déjà structurée localement (chaufferies collectives, réseaux de chaleur communaux).

- **Bocage** : élagage mécanisé (lamier, sécateur de cime) puis déchiquetage mobile directement en bord de champ — pas de transport de bois rond sur de longues distances.
- **Forêt** : rémanents regroupés en andains lors de l'exploitation principale (bois d'œuvre/industrie), puis déchiquetés en bord de parcelle ou en place de dépôt forestière.
- **Paille** : bottelage classique (round-baler ou presse haute densité) immédiatement après moisson — technologie standard, aucune adaptation requise.

3.2 Niveau 2 — Les plateformes de regroupement (rayon 25–35 km du site)

Sur le modèle documenté des plateformes territoriales (Mayenne Bois Énergie : réseau de plateformes réparties, dalle bétonnée, hangar couvert ou bâchage respirant ; CUMA Charente-Maritime : plateforme de 6 000 m² avec hangar de 1 000 m²), un site Résilience de 1 000 t/j nécessite un **réseau de 4 à 6 plateformes de regroupement** positionnées en étoile autour du site, chacune desservant un bassin de collecte de 25 à 35 km de rayon — distance qui limite le coût de transport routier et reste cohérente avec les pratiques observées dans les filières bois-énergie existantes.

△ Point critique : Le rayon de 25-35 km est une hypothèse de calcul issue des pratiques observées ailleurs — pas une donnée vérifiée pour un site normand précis. Une étude de gisement SIG (Système d'Information Géographique) est indispensable avant tout choix de localisation définitif, pour soustraire du gisement théorique dans ce rayon : les usages bois-énergie déjà en place (chaufferies collectives existantes), les zones réglementairement protégées (Natura 2000, arrêtés de biotope), les refus de contractualisation attendus, et les contraintes d'accès routier. Le rayon réellement nécessaire pour sécuriser 330 000 t/an pourrait s'avérer supérieur à 35 km selon la densité réelle de biomasse mobilisable du territoire retenu.

Caractéristique plateforme	Spécification	Référence terrain	Remarque
Surface au sol	1,5 à 3 ha	CUMA Charente-Maritime : 6 000 m ²	Zone export bois rond + plaquettes + paille
Hangar de stockage couvert	1 000 à 2 500 m ²	Mayenne BE : réseau de hangars communaux/CUMA	Capacité ≈ 1 t/m ² (hauteur utile 4 m)
Capacité de stockage tampon	1 500 à 3 000 t	FCBA — 1 t/m ² sous hangar	2 rotations/an possibles en plaine (vs 1 en montagne)
Équipement	Pont bascule, chargeur télescopique, déchiqueteuse fixe (mutualisée)	Guide CIBE / URACOFOR	Mutualisation = réduction coût déchiquetage
Gestion	CUMA, coopérative agricole ou opérateur dédié	1 salarié temps plein/plateforme (réf. Gémozac)	Contrat de gestion avec le site Résilience

Tableau 5 — Spécifications des plateformes de regroupement, par analogie aux retours d'expérience documentés (Mayenne Bois Énergie, CUMA Innov'17, CIBE/FCBA).

■ Note : Le rôle de la plateforme n'est pas seulement le regroupement — c'est aussi le séchage. Une plaquette fraîchement déchiquetée passe de 50 % à 25 % d'humidité en 3 à 4 mois sous hangar par fermentation naturelle (chute de température interne au tas, évaporation progressive). C'est ce délai de séchage qui impose, de fait, un stockage tampon de plusieurs mois et non une simple rupture de charge instantanée.

3.3 Niveau 3 — Le stockage final sur site (tampon de sécurité)

Le site de pyrogazéification lui-même conserve un **stock tampon de sécurité de 30 à 45 jours de consommation** (soit environ 27 000 à 41 000 tonnes), réparti entre plusieurs silos/hangars à atmosphère contrôlée pour limiter les risques d'auto-échauffement. Ce stock n'est pas dimensionné

pour absorber toute la saisonnalité — c'est le rôle des plateformes en amont — mais pour amortir les aléas (panne logistique, épisode météo, pic de demande imprévu).

4. Dimensionnement des flux — Du champ au site

4.1 Volumes et fréquences de transport

Indicateur	Valeur	Base de calcul	Remarque
Consommation annuelle du site	330 000 t/an	1 000 t/j × 330 j	Biomasse sèche, ~20-25 % humidité livrée
Consommation journalière	1 000 t/j	Cible de production continue	Référence dimensionnante du site
Capacité moyenne semi-remorque plaquette	~25 t (90 m ³)	Standard filière bois-énergie	Référence guide CIBE
Rotations camions / jour (site)	~40 rotations/j	1 000 t ÷ 25 t	Réparties sur 4 à 6 plateformes — ~7-10 rotations/plateforme/j
Distance moyenne plateforme → site	15–25 km	Plateformes en étoile autour du site	Distance courte — flux internalisable
Distance moyenne champ → plateforme	10–20 km	Rayon de collecte de proximité	Tracteurs/bennes agricoles — flux local

Tableau 6 — Dimensionnement des flux de transport quotidiens pour un site de 1 000 t/j.

⚠ Point critique : Le flux de ~40 rotations de semi-remorques par jour vers le site lui-même est un point de vigilance pour l'implantation : il nécessite un accès routier calibré (éviter la traversée de bourgs), une zone de manœuvre et déchargement dimensionnée, et une coordination des plages horaires de livraison avec les communes riveraines. C'est un sujet d'acceptabilité locale à anticiper dès la phase de sélection du site, au même titre que le bruit et le trafic.

4.2 Répartition cible des trois sources sur l'année

Source	Part du mix annuel	Tonnage annuel	Tonnage/jour	Stockage tampon nécessaire
Bocage	35 %	~115 000 t	~350 t/j	Modéré — récolte étalée oct.–mars
Forêt	30 %	~100 000 t	~300 t/j	Modéré — récolte étalée oct.–déc.
Paille	35 %	~115 000 t	~350 t/j	Élevé — récolte concentrée juil.–août, à étaler sur 12 mois
TOTAL	100 %	330 000 t	1 000 t/j	Mix conçu pour lisser la saisonnalité

Tableau 7 — Mix de sources cible (valeurs indicatives à affiner par étude de gisement détaillée site par site).

■ **Note** : La paille, bien que ne posant pas de problème de disponibilité (210 000 t/an excédentaires identifiées contre 115 000 t/an nécessaires), nécessite le stockage tampon le plus important car sa récolte est concentrée sur 4 à 6 semaines alors que sa consommation doit être étalée sur l'année — c'est elle qui dimensionne la capacité totale de stockage du système (plateformes + site), bien davantage que le bocage ou la forêt.

5. Organisation contractuelle — Sécuriser l'approvisionnement sur 15 ans

Un site de 460 M€ amorti sur 20 ans ne peut pas dépendre d'achats au comptant sur un marché spot. La sécurisation de l'approvisionnement repose sur une architecture contractuelle à plusieurs niveaux, inspirée des pratiques déjà observées dans les filières bois-énergie matures (contrats d'approvisionnement bois énergie évoqués par les études ADEME/FCBA) et adaptée à l'échelle industrielle de Programme Résilience.

5.1 Les trois familles de contrats fournisseurs

Type de contrat	Durée	Public concerné	Mécanisme de prix
Contrat-cadre bocage	10–15 ans	Propriétaires fonciers, exploitants agricoles	Prix plancher indexé + clause de reconstitution du linéaire
Contrat d'approvisionnement forestier	5–10 ans renouvelable	Propriétaires forestiers privés, ONF, coopératives forestières	Prix indexé marché bois-énergie régional + volume garanti
Contrat de collecte paille (annuel renouvelable)	1 an, reconduction tacite	Coopératives céréalières, négociants agricoles	Prix de campagne + prime de fidélité pluriannuelle

Tableau 8 — Architecture contractuelle des trois familles de fournisseurs.

5.2 Le rôle pivot des CUMA et coopératives agricoles

L'expérience des filières bois-énergie territoriales (Mayenne, Charente-Maritime) montre que le modèle le plus robuste n'est **pas** celui d'un opérateur industriel contractant directement avec des milliers d'agriculteurs et propriétaires individuels — c'est ingérable administrativement. Le modèle qui fonctionne passe par des **structures intermédiaires de type CUMA, coopérative ou SCIC (Société Coopérative d'Intérêt Collectif)**, qui regroupent l'offre locale, mutualisent le matériel de récolte, et contractent en bloc avec le site industriel.

Acteur	Rôle dans la chaîne	Référence / Analogie
CUMA locales	Mutualisation du matériel de récolte et déchetage entre exploitants ; gestion de plateforme	CUMA Innov'17 (Charente-Maritime) — gestion opérationnelle de plateforme
Coopérative ou SCIC bois-énergie	Structure juridique de regroupement de l'offre, contractualisation en bloc avec le site, facturation centralisée	Mayenne Bois Énergie — structure faîtière de plateformes territoriales

Acteur	Rôle dans la chaîne	Référence / Analogie
Coopératives céréalières	Massification de la collecte de paille via leur réseau de silos et leur relation déjà établie avec les exploitants	Réseau de collecte déjà opérationnel sur le grain — extension naturelle à la paille
Chambre d'agriculture régionale	Animation territoriale, mise en relation, appui technique (plans de gestion de haies), tiers de confiance	Rôle déjà documenté en Normandie sur le bocage

Tableau 9 — Rôle des structures intermédiaires dans la chaîne d'approvisionnement.

◆ **Principe d'organisation** : Le site Résilience ne devient pas lui-même un acteur de la collecte — il signe un nombre limité de contrats-cadres (de l'ordre de 5 à 10) avec des structures intermédiaires déjà existantes ou à créer (CUMA, coopératives, SCIC bois-énergie), qui elles-mêmes gèrent la relation avec les centaines de propriétaires et exploitants individuels. C'est cette désintermédiation à un seul niveau qui rend la gestion contractuelle praticable à l'échelle d'un site industriel.

6. Risques logistiques et points de vigilance

- **Risque météorologique sur la moisson** : un été pluvieux peut retarder ou compromettre la collecte de paille sur sa fenêtre étroite. La diversification des sources (bocage et forêt en complément) est la principale parade — un site mono-source paille serait structurellement vulnérable.
- **Risque de recul du linéaire bocager** : documenté à l'échelle nationale et régionale (-21 000 km/an en France). Les contrats-cadres bocage doivent intégrer des clauses de reconstitution (replantation conditionnée à l'exploitation) pour ne pas contribuer à l'épuisement de la ressource sur la durée du contrat de 15 ans.
- **Risque d'accès et desserte forestière** : 80 % des forêts privées bas-normandes nécessitent une amélioration de desserte pour une exploitation mécanisée — un investissement d'infrastructure (pistes, places de dépôt) à anticiper dans le plan de financement global, potentiellement éligible à des aides régionales ou du Fonds Forêt-Bois.
- **Risque d'auto-échauffement en stockage** : les tas de plaquettes fraîches montent en température par fermentation (jusqu'à 60–70°C au cœur du tas) — un risque d'incendie documenté par les guides techniques CIBE/FCBA, nécessitant un protocole de surveillance thermique et une limitation de la hauteur des tas en stockage extérieur.
- **Risque de qualité hétérogène** : biomasse de trois origines différentes (bocage, forêt, paille) avec des taux d'humidité et des PCI variables — nécessite un protocole de contrôle qualité à réception sur chaque plateforme et un mélange calibré avant alimentation du site, pour garantir la stabilité du procédé de pyrogazéification.
- **Risque social et acceptabilité** : 40 rotations de camions/jour vers le site est un sujet sensible pour les riverains — un plan de circulation concerté avec les communes et un évitement des traversées de bourgs doivent être actés avant le dépôt du dossier ICPE.

Risque logistique : Le risque le plus structurant n'est pas un risque ponctuel mais un risque de modèle : si le site Résilience entre en concurrence d'usage avec les chaufferies bois-énergie territoriales déjà existantes en Normandie (réseaux de chaleur communaux déjà alimentés par les mêmes plateformes bocage/forêt), la tension sur la ressource et les prix peut s'installer. Une cartographie précise des usages bois-énergie existants dans le rayon de collecte est un préalable indispensable à la localisation définitive du site, pour vérifier l'absence de cannibalisation d'une filière déjà en place.

8. Analyse de sensibilité — Que se passe-t-il si les hypothèses se dégradent ?

Un document de faisabilité destiné à des investisseurs institutionnels ne peut pas se contenter d'un scénario central. Cette section teste la robustesse du modèle d'approvisionnement face à deux types de dégradation : une **baisse de la disponibilité réelle** (taux de contractualisation plus faible qu'anticipé, aléas climatiques cumulés) et une **hausse du prix de la biomasse** (tension concurrentielle, hausse du coût du carburant pour le transport).

8.1 Sensibilité à la disponibilité de la biomasse

Scénario	Gisement net mobilisable	Couverture besoin site	Marge	Conséquence opérationnelle
Central (estimation §1.4)	385 000–545 000 t	117–165 %	+17 à +65 %	Fonctionnement normal — marge de sécurité contractuelle
Disponibilité à 80 % du central	308 000–436 000 t	93–132 %	-7 à +32 %	Scénario bas en tension — nécessite extension du rayon de collecte ou 4 ^e source d'appoint
Disponibilité à 60 % du central	231 000–327 000 t	70–99 %	-30 à -1 %	⚠ Risque de sous-approvisionnement structurel dans le scénario bas — site non viable sans 4 ^e source ou extension de rayon

Tableau 11 — Sensibilité du bilan d'approvisionnement à la disponibilité réelle de la biomasse.

⚠ Point critique : Le scénario central seul (385 000–545 000 t) ne suffit pas à démontrer la viabilité du site : c'est la borne basse du scénario central (385 000 t, soit +17 % de marge) qui doit être le chiffre de référence pour toute décision d'investissement, et non la borne haute. Avec seulement +17 % de marge en cas extrême bas, une dégradation de 15 % de la disponibilité suffit à faire basculer le site sous le seuil de 100 % de couverture — ce qui justifie d'intégrer une 4^e source d'appoint identifiée mais non contractualisée par défaut (par exemple CSR agricole ou bois en fin de vie), activable en cas de déficit ponctuel.

8.2 Sensibilité au prix de la biomasse — Impact sur le coût du biométhane

Le coût d'approvisionnement biomasse représente, selon la Fiche économique V2 du site type, **8,9 à 14,8 M€/an** sur un OPEX total de 25-29 M€/an — soit environ **35 à 50 % de l'OPEX total**. C'est donc le poste de coût le plus sensible aux variations de prix de marché. Le tableau suivant teste l'effet d'une hausse du prix moyen de collecte sur le coût de production du biométhane.

Scénario prix biomasse	Prix moyen (€/t MS)	Coût annuel approvisionnement	Impact OPEX total	Impact coût biométhane (€/MWh)
Central (Fiche éco V2)	28–47 €/t	8,9–14,8 M€	Référence	Référence (115–144 M€/an revenus)
Prix biomasse +20 %	34–56 €/t	10,7–17,8 M€	+1,8–3,0 M€/an	+1,9 à +3,1 €/MWh

Scénario prix biomasse	Prix moyen (€/t MS)	Coût annuel approvisionnement	Impact OPEX total	Impact coût biométhane (€/MWh)
Prix biomasse +50 %	42–70 €/t	13,4–22,2 M€	+4,5–7,4 M€/an	+4,7 à +7,7 €/MWh

Tableau 12 — Sensibilité du coût du biométhane à une hausse du prix de la biomasse. Base de calcul : ~958 GWh CH₄ /an produits par site (Fiche économique V2).

■ **Note** : Même dans le scénario le plus défavorable testé (+50 % sur le prix de la biomasse), le surcoût répercuté sur le biométhane (+4,7 à +7,7 €/MWh) reste largement absorbable au regard du prix de vente du biométhane en Phase 2 (115–144 M€/an de revenus sur ~958 GWh, soit ~120–150 €/MWh) — la rentabilité du site n'est pas remise en cause par la seule variable prix biomasse. C'est la combinaison d'une baisse de disponibilité ET d'une hausse de prix simultanées (scénario de tension concurrentielle aiguë) qui constituerait un risque sérieux, justifiant la clause d'indexation et de prix plancher déjà recommandée en §5.1.

✓ **Conclusion** : L'analyse de sensibilité confirme que le modèle d'approvisionnement est robuste face à des chocs de prix isolés, mais vulnérable à un choc de disponibilité combiné à une concentration excessive sur une seule source. C'est l'argument décisif en faveur du mix à trois sources et de la marge de sécurité contractuelle développés dans ce document — la diversification n'est pas seulement une bonne pratique, elle est ce qui sépare un scénario central viable (+17 % de marge) d'un scénario dégradé non viable (-30 % de marge).

9. Synthèse — Un système répliquable, pas une exception normande

La Normandie illustre un principe général applicable aux 150 sites du Programme Résilience : **aucune région ne dispose d'une seule source de biomasse suffisante et fiable à elle seule** — c'est la combinaison de 2 à 3 sources locales complémentaires en calendrier, associée à un réseau de plateformes de regroupement à 25–35 km du site et une organisation contractuelle structurée par des coopératives ou CUMA déjà existantes, qui rend l'approvisionnement continu possible.

Sans organisation logistique structurée	Avec le modèle à 3 niveaux Résilience
Approvisionnement spot, prix volatils, ruptures saisonnières	Contrats-cadres 10-15 ans, prix indexés stables
Milliers de relations contractuelles individuelles ingérables	5 à 10 contrats-cadres avec coopératives/CUMA intermédiaires
Stock géant sur site pour absorber toute la saisonnalité	Stock tampon site limité (30-45 j) — lissage assuré en amont par les plateformes
Risque de tension avec les usages bois-énergie locaux existants	Cartographie préalable des usages — mix multi-source réduisant la pression unitaire

Tableau 10 — Comparaison structurelle avec/sans organisation logistique dédiée.

✓ **Conclusion** : La logistique d'approvisionnement n'est pas un détail d'exécution à traiter après la décision d'investissement — c'est une condition de faisabilité au même titre que le verrou technologique des goudrons. Une étude de gisement fine à l'échelle du site retenu (rayon 35-40 km), couplée à une cartographie des usages bois-énergie déjà en place, doit faire partie intégrante du dossier de faisabilité Phase 0, au même titre que les essais de craquage catalytique.

9.1 La question qui reste ouverte — Le passage à 150 sites

Ce document démontre la faisabilité logistique d'un site en Normandie. Il ne démontre pas — et ce n'est pas son objet — qu'il est possible d'alimenter **simultanément 150 sites Résilience** sans créer de tensions cumulées sur les ressources, les usages bois-énergie existants et les prix à l'échelle nationale. C'est une question d'un ordre de grandeur différent : la somme de 150 études de gisement locales positives ne garantit pas l'absence de tension nationale, en particulier si plusieurs sites sont implantés dans des bassins agro-forestiers aux profils similaires (Grand Ouest bocager, par exemple). Une **cartographie nationale des gisements et des usages concurrents**, déjà identifiée comme prochaine étape, conditionne le passage d'une démonstration de faisabilité locale à une stratégie de déploiement national crédible.

Références

- Chambres d'agriculture de Normandie — Rôles et valorisation des haies, étude « Haie Biomasse Basse-Normandie » 2010.
- L'Agriculteur Normand — Bois énergie : une opportunité pour pérenniser la haie bocagère.
- GIEC Normand — Haies et bocages face au changement climatique, janvier 2025.
- ANBDD (Agence normande de la biodiversité et du développement durable) — État et évolution de la densité des haies en Normandie.
- DRAAF Normandie — Plan Pluriannuel Régional de Développement Forestier, Préfecture de Basse-Normandie.
- Intercéréales — Les céréales en Normandie.
- ARPE Normandie — La paille, ressource régionale et usages.
- Biomasse Normandie — Encyclopédie technique, fiche Rémanents.
- Mayenne Bois Énergie — Organisation du réseau de plateformes territoriales.
- CIBE / URACOFOR Rhône-Alpes — Guide technique de mise en œuvre des plateformes et hangars de stockage de bois énergie.
- FCBA — Synthèse des bonnes pratiques de stockage des piles de bois énergie issues de forêt (MOQAPRO).
- Entraid — Plateforme de stockage CUMA Innov'17 / Proxibois, Charente-Maritime.
- ADEME / IGN / FCBA — Disponibilités forestières pour l'énergie et les matériaux à l'horizon 2035.