

# Vers une diversification des liants et additions dans les bétons : enjeux et implications normatives

Rachida IDIR<sup>1</sup>, Martin CYR<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Cerema, UMR MCD, Cerema, Univ Gustave Eiffel, F-77171 Sourdun, France

<sup>2</sup> LMDC, Université de Toulouse, INSA/UPS Génie Civil, Toulouse, France

**RESUME** Dans un contexte de transition vers la neutralité carbone en Europe, la réduction de la teneur en clinker des liants pour béton constitue un levier majeur de décarbonation. Cet article propose une analyse structurée des enjeux techniques et normatifs associés à cette transition. Il examine la disponibilité effective des ressources alternatives, les limites liées à leur mise en œuvre à grande échelle, ainsi que les conditions nécessaires à leur reconnaissance réglementaire pour un usage sécurisé en béton structurel. Les dispositifs français (ETPM, ATE<sub>x</sub>, ATec) et européens (EAD, Évaluation Technique Européenne) d'évaluation technique sont présentés, en lien avec les défis d'assurance, de performance durable et de marquage CE. L'étude met en lumière les leviers de déploiement, les freins persistants et la nécessité d'une approche cohérente intégrant innovation, sécurité et économie circulaire des matériaux.

**Mots-clefs** béton bas carbone, liants alternatifs, substitution du clinker, évaluation technique, normalisation

## I. INTRODUCTION

Le secteur de la construction est aujourd'hui confronté à un double impératif : répondre à une demande croissante en infrastructures tout en réduisant drastiquement son empreinte environnementale. Le béton, matériau de construction le plus utilisé au monde, est au cœur de cette transition. Sa production repose essentiellement sur le clinker Portland, constituant principal du ciment, dont la fabrication est responsable d'environ 90 % des émissions de dioxyde de carbone liées au béton (Scrivener et al., 2018 ; IEA & WBCSD, 2018). Cette réalité place la filière cimentière et bétonnière au centre des efforts de décarbonation engagés à l'échelle nationale et européenne.

Dans le cadre du Pacte Vert pour l'Europe et des objectifs fixés par la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC), le développement de solutions bas carbone dans le secteur du bâtiment et des travaux publics devient une priorité stratégique (Commission européenne, 2019 ; Ministère de la Transition Écologique, 2020 ; ADEME, 2022). Parmi les leviers identifiés, la substitution partielle ou totale du clinker par d'autres constituants, dits « additions », ou le recours à des liants alternatifs, constitue une voie prometteuse pour réduire l'empreinte carbone du béton tout en maintenant ses performances.

De nombreuses recherches académiques, initiatives industrielles et démonstrateurs à l'échelle du projet ou du chantier ont vu le jour ces dernières années, explorant un large éventail de

matériaux : sous-co-produits industriels (laitier, cendre volantes, cendre de biomasse, matières premières naturelles brutes ou transformées (argile calcinées), ou encore liants alcali-activés/géopolymères. Cependant, malgré l'essor de ces alternatives, leur généralisation à grande échelle reste freinée par plusieurs verrous, aussi bien techniques qu'organisationnels et réglementaires.

Ce travail propose une analyse croisée des enjeux liés à la diversification des liants et additions dans les bétons, avec un accent particulier mis sur deux dimensions fondamentales :

1. la disponibilité réelle et la pérennité des ressources alternatives à l'échelle industrielle ;
2. les conditions d'acceptation normative et réglementaire permettant leur utilisation sécurisée dans des ouvrages structuraux.

En croisant l'analyse des cadres de reconnaissance technique en vigueur en France et en Europe avec les enjeux liés à la disponibilité réelle des ressources, cette contribution vise à identifier les conditions nécessaires à un déploiement à grande échelle des liants et additions alternatifs. Elle propose des pistes d'action concrètes pour permettre une transition progressive, sécurisée et soutenable vers des bétons à plus faible empreinte carbone.

## II. Ressources disponibles et limites d'approvisionnement

La diversification des liants et additions repose sur la possibilité de disposer de ressources suffisantes, stables et compatibles avec un usage dans les formulations de bétons. Si les performances techniques des co-produits et matières naturelles activées sont de mieux en mieux maîtrisées, leur approvisionnement en quantité industrielle constitue un verrou majeur pour un déploiement à large échelle. Ce constat est d'autant plus crucial que le secteur du BTP mobilise des volumes massifs de matériaux : environ 350 millions de mètres cubes de béton sont produits chaque année en Europe (ERMCO, 2025), dont près de 40 millions de m<sup>3</sup> en France (SNBPE, 2021), impliquant plusieurs millions de tonnes de liants cimentaires.

### A. Quantités nécessaires à l'échelle nationale et européenne

À l'échelle européenne, la production de ciment dépasse 200 millions de tonnes par an (CEMBUREAU, 2023), avec un facteur clinker moyen autour de 75 %. À titre illustratif, abaisser ce facteur à 50 %, comme le prévoient plusieurs scénarios sectoriels de décarbonation à l'horizon 2050, nécessiterait de substituer environ 50 millions de tonnes de clinker par des matériaux alternatifs chaque année. Cela suppose une disponibilité équivalente en co-produits industriels (laitiers, cendres, fumées de silice) ou en matières naturelles (argiles calcinées, pouzzolanes...).

En France, cette même dynamique impliquerait de disposer de 8 à 10 millions de tonnes d'additions ou de liants alternatifs par an pour maintenir les volumes actuels de production de béton avec des ciments à faible teneur en clinker (France Ciment, 2022). Cette exigence appelle à une évaluation précise du potentiel national de substitution et à une stratégie de mobilisation coordonnée des ressources alternatives.

### *B. Ressources limitées et disponibilité géographique en France*

En France, les ressources mobilisables pour la formulation de liants à faible teneur en clinker présentent une forte hétérogénéité géographique, limitant leur emploi généralisé sur l'ensemble du territoire.

La production de laitiers de haut fourneau, utilisés comme constituants hydrauliques latents, est concentrée autour de Dunkerque, Fos-sur-Mer et Hayange. En 2023, la quantité mobilisable à des fins cimentaires a été estimée à environ 1,3 million de tonnes par an (CTPL, 2023). De plus, ces zones sont éloignées des principaux pôles de consommation (Île-de-France, Auvergne-Rhône-Alpes, PACA), nécessitant des transports longue distance, ce qui peut atténuer partiellement les gains environnementaux escomptés.

Les fumées de silice, sous-produit de la production de silicium ou de ferro-silicium, sont produites en quantités limitées en France, de l'ordre de 40 000 à 45 000 tonnes par an selon les estimations disponibles (ECOFUMÉE, 2016). Leur production est fortement concentrée dans quelques sites industriels, principalement dans les Alpes. Ces volumes restreints, ainsi que leur usage prioritaire dans certaines applications spécifiques (préfabrication, bétons spécialisés), en font une ressource précieuse mais non généralisable pour la substitution massive du clinker.

Les cendres volantes, issues des anciennes centrales thermiques au charbon de Cordemais, Le Havre et Gardanne, sont désormais peu disponibles. Leur production actuelle est estimée à environ 400 000 tonnes par an, principalement issues de haldes ou de résidus stockés (Cerema, 2019). Ces volumes sont en forte diminution depuis la fermeture progressive des centrales, et sont souvent orientés vers la voirie ou les remblais, ce qui les rend non structurants pour un usage cimentaire.

Concernant les argiles kaoliniques, les gisements localisés dans l'Allier, le Puy-de-Dôme et le Morbihan représentent un potentiel géologique important, mais la ressource mobilisée industriellement ne dépasse pas quelques centaines de milliers de tonnes par an (BRGM, 2019).

Les pouzzolanes naturelles, présentes dans les régions volcaniques du Cantal et de l'Ardèche, sont exploitées à hauteur de quelques dizaines à centaines de milliers de tonnes par an, mobilisées à des fins locales, sans logistique de distribution élargie (CMCA, 2022).






Le **Tableau 1** synthétise les données disponibles sur les quantités mobilisables et leur répartition géographique à l'échelle nationale.

Malgré la présence de ces ressources sur le territoire, les quantités mobilisables restent très inférieures aux besoins estimés, qui s'élèvent à 8 à 10 millions de tonnes par an pour atteindre les objectifs de réduction du taux de clinker. De plus, leur éloignement géographique des grands centres de consommation aggrave les contraintes logistiques. Ce double déséquilibre, en volume et en localisation, constitue un frein majeur au déploiement industriel de ces solutions bas carbone à l'échelle nationale.

Des solutions organisationnelles sont actuellement mises en place pour combler partiellement ce déficit de matières. Elles s'appuient essentiellement sur l'importation massive de matières premières disponibles dans des pays limitrophes ayant des surplus importants de ressources utilisables dans les ciments et bétons. A titre d'exemple, l'Islande, la Grèce et la Turquie ont d'importants gisements de pouzzolanes naturelles qui dépassent fortement les besoins de leurs

marchés locaux. La Pologne produit encore de grandes quantités de cendres volantes utilisables en Europe de l'Ouest. L'Algérie produit du laitier de haut-fourneau en quantité suffisante pour envisager de l'exportation. Enfin, plusieurs pays africains ont d'importants gisements d'argiles latéritiques pouvant servir de base à la production d'argiles calcinées. L'utilisation de ces ressources en France nécessite évidemment du transport qui entraîne des coûts monétaires et environnementaux qu'il faudra considérer.

**TABLEAU 1.** Estimation des quantités et localisation de quelques points géographiques clés concernant les principales additions minérales en France.

Type de matériau	Quantité mobilisable (France)	Localisation géographique	Type de matériau	Quantité mobilisable (France)	Localisation géographique
Laitiers de haut fourneau	Environ 1,3 million de tonnes/an		Argiles kaoliniques	Quelques centaines de milliers de tonnes/an	
Fumées de silice	40 000 à 45 000 tonnes/an		Pouzzolanes naturelles	Quelques dizaines à centaines de milliers de tonnes/an	
Cendres volantes	Environ 400 000 tonnes/an				

### C. Mobilisation de ressources émergentes et non conventionnelles

Une autre solution envisageable pour pallier le déficit en additions consiste à considérer d'autres ressources potentiellement mobilisables. Comme présenté précédemment, les principaux co-produits actuellement mobilisables en France (laitiers de haut fourneau, cendres volantes, fumées de silice) ne permettent pas, à eux seuls, d'atteindre l'objectif de réduction du facteur clinker à 50%. Les volumes mobilisables, estimés entre 2 et 3 millions de tonnes par an, restent très inférieurs aux besoins, évalués entre 8 et 10 millions de tonnes par an. En outre, leur concentration géographique accroît les distances de transport, réduisant les gains environnementaux escomptés.

Dans ce contexte, plusieurs flux alternatifs ou secondaires peuvent contribuer à compléter l'offre actuelle, à condition d'une montée en maturité technologique et réglementaire :

- Cendres de biomasse, issues des chaufferies industrielles ou des centrales à cogénération. Certaines cendres, riches en silice amorphe ou en chaux, présentent un réel potentiel comme additif cimentaire, notamment après traitement.
- Verre recyclé finement broyé (calcin micronisé), activable par voie alcaline ou pouzzolanique. Des recherches récentes montrent des performances prometteuses en substitution partielle du ciment.
- Autres types de laitiers, comme les laitiers d'aciérie (d'ESR ou LD), dont la réactivité est généralement plus faible que celle des laitiers de haut fourneau, mais qui peuvent être utilisés dans des formulations spécifiques après traitement.

- Terres excavées, en particulier les argiles ou limons riches en aluminosilicates, activables thermiquement ou par voie alcaline. Ces matériaux massivement disponibles, notamment sur les chantiers urbains, représentent une opportunité majeure de substitution locale.
- Fines de concassage et résidus de démolition, notamment les fines de béton recyclé, qui peuvent présenter une réactivité pouzzolanique résiduelle.
- Scories d'incinération, boues papetières, et autres coproduits industriels contenant des oxydes réactifs.

Au-delà de la variabilité physico-chimique des matériaux émergents, qui impose la mise en place de stratégies rigoureuses de caractérisation, d'ajustement des formulations et de traitements préalables adaptés (broyage, tri, activation), leur intégration dans les usages courants demeure limitée par l'absence d'un cadre normatif structuré et pleinement opérationnel. Bien que des efforts soient engagés pour lever certains verrous techniques, les producteurs et porteurs de solutions innovantes doivent encore composer avec une réglementation fragmentaire, peu harmonisée, et souvent inadaptée aux spécificités de ces matériaux. Or ces ressources, peu exploitées et parfois encore considérées comme des déchets, constituent un levier stratégique pour construire des filières pérennes de liants alternatifs, en cohérence avec les objectifs de décarbonation du secteur béton.

### III. Cadre normatif et mise sur le marché des liants alternatifs

La mise sur le marché des liants et des additions pour béton est encadrée par un ensemble de normes européennes et françaises, garantissant la performance et la durabilité des produits utilisés dans les ouvrages de construction. Deux niveaux d'encadrement sont distingués : d'une part, les normes relatives aux ciments courants, qui intègrent progressivement de nouveaux constituants principaux et secondaires ; d'autre part, les normes spécifiques aux additions minérales, qui définissent les critères de qualité des matériaux utilisés comme substituts ou compléments au ciment. Ce cadre normatif, bien que structurant, reste parfois limitant pour les matériaux émergents ou issus de ressources secondaires non standardisées.

#### *A. Normes actuelles encadrant les liants hydrauliques pour béton*

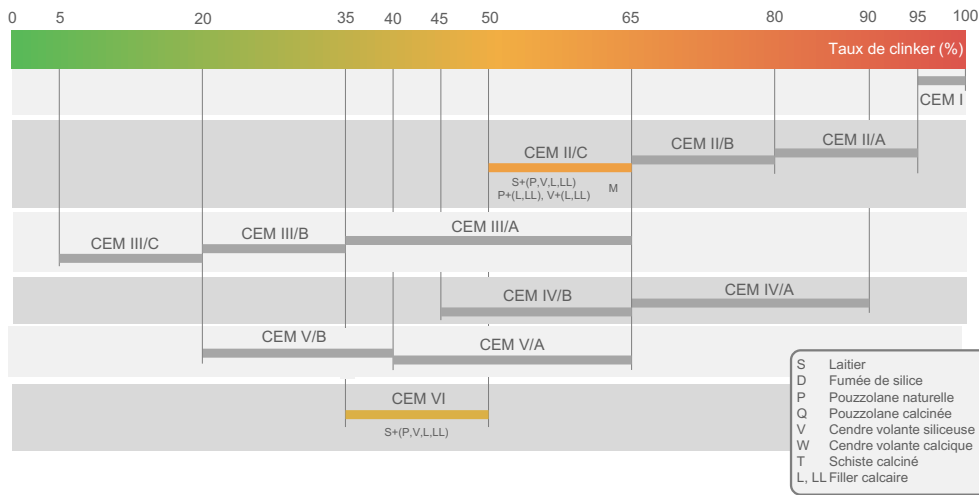
La norme harmonisée EN 197-1, révisée en 2021, définit les spécifications communes pour les ciments courants, incluant désormais de nouvelles catégories de constituants (jusqu'à 95% de composants autres que le clinker), comme le laitier de haut fourneau, les cendres volantes siliceuses ou calcaïques, les pouzzolanes naturelles, les fumées de silice ou les fillers calcaires.

La norme non harmonisée EN 197-5, publiée plus récemment, introduit quant à elle les ciments dits « à très faible teneur en clinker » (notamment les ciments ternaires comme le CEM II/C-M), dans une démarche de décarbonation renforcée. Enfin, la norme non harmonisée EN 197-6 permet d'intégrer les fines de bétons recyclés dans les ciments courants.

Il est intéressant de noter que le processus européen en cours de l'Acquis a notamment pour objectif de proposer une norme harmonisée EN 197-1, regroupant les normes actuelles EN 197-1, EN 197-5 et EN 197-6, en plus d'autres ciments étendant le domaine de composition.

La Figure 1 illustre la diversité actuelle des ciments normalisés (qui s’étendra probablement dans un avenir rapproché), tels que définis dans les normes EN 197-1 et EN 197-5. Elle positionne les différentes classes de ciments en fonction de leur taux de clinker et des types d’additions autorisées. Par exemple, les CEM II, ciments les plus utilisés en France actuellement, sont couverts dans la norme EN 197-1 entre 65 et 95 % de clinker. La norme EN 197-5 introduit une nouvelle catégorie à plus faible teneur en clinker, les CEM II/C, qui permettent de descendre à 50 % de clinker, en combinant plusieurs autres constituants.

Ces normes permettent d’encadrer une partie de la diversification des liants, mais restent généralement centrées sur des matériaux bien caractérisés, disposant d’un historique d’usage ou d’un retour d’expérience suffisant.



**FIGURE 1.** Positionnement des ciments normalisés selon leur taux de clinker et leurs constituants (adapté des normes EN 197-1 et EN 197-5).

*B. Normes actuelles encadrant les additions minérales pour béton*

Parallèlement aux normes encadrant les ciments, plusieurs normes européennes spécifiques définissent les exigences de qualité et de performance pour les additions minérales utilisées dans les bétons. La norme EN 450-1 concerne les cendres volantes siliceuses issues de la combustion du charbon pulvérisé, et précise les critères de composition chimique, de finesse, de perte au feu et de réactivité pouzzolanique. Une extension accrue de la co-combustion pourrait permettre d’augmenter la quantité disponible de cendres à être utilisée comme addition. La norme EN 15167-1 s’applique aux laitiers de haut fourneau granulés et moulus, en tant qu’additions au béton ou comme constituants de ciment. Elle impose des exigences sur la teneur en verre, la réactivité, et les propriétés physiques. La possibilité de normaliser d’autres sources de laitiers est actuellement à l’étude. D’autres normes encadrent les fumées de silice (EN 13263-1), ou encore les pouzzolanes naturelles (EN 197-1, via des critères intégrés dans la norme ciment). Dans ce dernier cas, une norme-produit est actuellement en cours d’élaboration.

En ce qui concerne le métakaolin, il ne dispose pas encore de norme européenne dédiée. Cependant, une norme française spécifique existe depuis la fin des années 2000 : la NF P 18-513, qui fixe les critères de performance pour son utilisation comme addition minérale dans les bétons.

Cette norme définit notamment les exigences en matière de composition chimique, de réactivité pouzzolanique et de propriétés physiques. La norme des pouzzolanes naturelles en cours d'élaboration intégrera également les argiles calcinées.

Ces normes techniques garantissent la performance, la sécurité et la durabilité des bétons formulés avec ces matériaux. Toutefois, elles reposent sur des matériaux bien caractérisés et issus de filières industrielles stabilisées.

### *C. Dispositifs d'évaluation hors norme : procédures françaises et européennes*

En l'absence de normes harmonisées applicables à certains liants ou matériaux alternatifs, des dispositifs spécifiques ont été mis en place pour encadrer leur évaluation technique. Ces procédures, distinctes selon qu'elles relèvent du cadre national ou européen, visent à vérifier leur aptitude à l'emploi, leur sécurité et leur performance, en vue de leur mise sur le marché.

#### 1. Dispositifs français

Plusieurs dispositifs d'évaluation technique permettent en France de cadrer la mise sur le marché de produits innovants et leur reconnaissance par les acteurs de la construction. Ces dispositifs, présentés ci-dessous, offrent des niveaux gradués de validation selon le degré de maturité, de performance démontrée et de retour d'expérience des produits concernés.

**ETPM (Évaluation Technique de Produits et Matériaux)** : L'ETPM est un dispositif d'évaluation technique non normatif. Elle permet de vérifier la conformité du produit à un cahier des charges technique spécifique, adapté à un usage ciblé (génie civil, préfabrication, etc.), sur la base d'essais, d'analyses de performance et de retours d'usage éventuels. Bien qu'elle ne constitue pas une certification réglementaire, l'ETPM fournit une base technique pouvant appuyer un futur passage en ATEx ou en ATec, en apportant des éléments de preuve sur la pertinence, la faisabilité et la sécurité du produit dans un contexte d'application donné. Dans le cas d'un produit évalué en vue d'un Avis Technique (ATec), une ETPM peut être intégrée directement au processus, sans qu'il soit nécessaire de la réaliser séparément.

**ATEx (Appréciation Technique d'Expérimentation)** : L'ATEx est une procédure d'évaluation dédiée aux produits innovants ne disposant pas encore d'un cadre normatif applicable. Elle autorise leur mise en œuvre à titre strictement expérimental, sur un nombre limité d'opérations et pour une durée déterminée, sous réserve d'un suivi technique encadré. Ce dispositif vise à évaluer la faisabilité, la sécurité, l'aptitude à l'emploi et les performances de la solution dans des conditions représentatives d'usages réels. L'ATEx constitue ainsi une première étape de reconnaissance technique, spécifiquement adaptée à des solutions encore en phase de développement ou de validation, ne bénéficiant pas d'un retour d'expérience suffisant et ne pouvant être généralisées sans évaluation complémentaire.

**ATec (Avis Technique)** : L'Avis Technique est un document officiel délivré par les deux seuls organismes habilités en France : le Cerema (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement) et le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment). Il s'adresse à des produits plus matures, ayant fait l'objet d'un développement structuré et disposant d'un retour d'expérience suffisant. L'ATec repose sur une évaluation approfondie, intégrant une analyse du dossier technique, une campagne d'essais normalisés, et

un examen par un groupe d’experts. Ce dispositif permet une reconnaissance officielle du produit pour des usages standards, notamment dans le domaine du bâtiment ou des ouvrages de génie civil, et facilite son acceptation sur le marché, en l’absence de norme existante couvrant sa spécificité.

## 2. Dispositif européen : Évaluation Technique Européenne (ETE)

Au-delà du cadre national, des dispositifs européens permettent également de reconnaître et de valoriser des produits innovants en l’absence de norme harmonisée. L’Évaluation Technique Européenne (ETE) constitue le principal outil de mise sur le marché dans l’Union européenne pour ces produits non couverts par une norme existante, en leur offrant un accès au marquage CE.

L’Évaluation Technique Européenne (ETE) est un dispositif réglementaire permettant à un produit de construction de bénéficier du marquage CE, en l’absence de norme harmonisée couvrant ses caractéristiques ou son domaine d’application. L’ETE repose sur un Document d’Évaluation Européen (DEE), élaboré pour le produit par l’EOTA (Organisation Européenne pour l’Évaluation Technique), en collaboration avec un organisme d’évaluation technique. En France, ce rôle peut être assuré par le Cerema ou le CSTB, selon la nature du produit. Le dossier d’évaluation repose sur : un dossier technique détaillé du produit, des essais spécifiques selon les protocoles du DEE, et une évaluation de la performance, de la durabilité et de l’aptitude à l’emploi dans l’usage visé. L’obtention d’une ETE permet au fabricant de délivrer une Déclaration de Performance (DoP) et d’apposer le marquage CE, condition nécessaire à la mise sur le marché dans l’Espace économique européen pour les produits non couverts par des normes harmonisées.

La Figure 2 résume les différents dispositifs français et européens de reconnaissance technique (ETPM, ATEEx, ATec, ETE) et illustre leurs périmètres d’application respectifs selon le niveau de maturité du produit et le cadre normatif disponible.

En vue de d’uniformiser les méthodes et protocoles d’études des différents dispositifs nationaux et en perspective au niveau européens, le Groupe Solution Bas-Carbone de la Commission P18B de l’AFNOR a élaboré un fascicule de documentation FD P18-484, guide d’élaboration d’un dossier technique pour évaluer un nouveau liant ou une nouvelle addition.

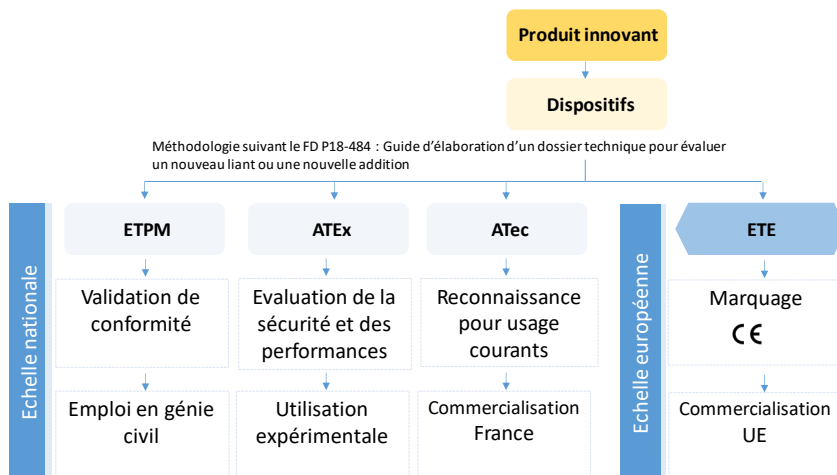


FIGURE 2. Dispositifs d’évaluation technique pour les produits innovants : articulation entre

niveaux national et européen. (UE : union européenne)

Ce document ne se limite pas à harmoniser les démarches : il vise également, en lien avec le texte d'appel de la norme NF EN 206/CN, à rapprocher l'évaluation des nouveaux constituants du cadre normatif. Il introduit ainsi une voie nouvelle dite "évaluations techniques", complémentaire des dispositifs existants tels que les ETE, permettant la reconnaissance réglementaire de liants ou additions innovants avant leur éventuelle normalisation. Son utilisation devrait, à terme, permettre d'améliorer l'assurabilité des futures solutions bas-carbone pour la construction.

## V. Conclusion

La transition vers des bétons à faible empreinte carbone impose une diversification ambitieuse des liants et additions, en s'appuyant sur des ressources secondaires, naturelles ou issues du recyclage. Si les performances techniques de nombreux matériaux alternatifs sont aujourd'hui démontrées, leur déploiement à grande échelle reste tributaire d'un cadre réglementaire et technique capable d'en garantir la sécurité, la durabilité et la fiabilité.

En l'absence de normes harmonisées couvrant certains de ces constituants, plusieurs dispositifs d'évaluation technique permettent d'encadrer leur usage en apportant une reconnaissance officielle. En France, l'Avis Technique (ATec) constitue le niveau le plus abouti de validation, tandis que l'ATEX et l'ETPM permettent une montée en maturité progressive, selon le degré de retour d'expérience disponible. À l'échelle européenne, l'Évaluation Technique Européenne (ETE) joue un rôle analogue pour l'accès au marquage CE.

Depuis la publication du FD P18-484, une nouvelle voie d'évaluation dite « évaluations techniques », au sens du texte d'appel de la norme NF EN 206/CN, complète désormais ces dispositifs. Elle rapproche l'évaluation des liants et additions innovants du cadre normatif, en offrant une méthode reconnue pour leur acceptation dans les bétons structurels avant même leur normalisation.

Ces dispositifs représentent des leviers essentiels pour favoriser l'introduction maîtrisée de matériaux innovants dans les ouvrages, tout en respectant les exigences structurelles et environnementales de la construction. L'utilisation du FD P18-484 pour l'élaboration de normes ou de certifications françaises, et à terme européennes, devrait permettre de faciliter l'émergence de nouveaux liants et nouvelles additions en vue de réduire l'impact CO<sub>2</sub> de la construction.

## REFERENCES

ADEME. (2022). Transition(s) 2050 - Choisir maintenant, agir pour le climat. <https://transitions2050.ademe.fr>

AFNOR (2022). NF EN 197-1+A1: Ciment - Partie 1: Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants. Association Française de Normalisation, Paris.

AFNOR (2021). NF EN 197-5: Ciment - Partie 5: Ciment Portland-composite CEM II/C-M et ciment composite CEM VI. Association Française de Normalisation, Paris.

AFNOR. (2025). FD P18-484. Guide d'élaboration d'un dossier technique pour évaluer un nouveau liant ou une nouvelle addition. 1re édition, 121 pages.

AFNOR (2021). NF EN 450-1: Cendres volantes siliceuses pour béton - Partie 1: Définition, spécifications et critères de conformité. Association Française de Normalisation, Paris.

AFNOR (2021). NF EN 15167-1: Laitiers de haut fourneau granulés et moulus pour béton - Partie 1: Définition, spécifications et critères de conformité. Association Française de Normalisation, Paris.

AFNOR (2021). NF EN 13263-1: Fumée de silice pour béton - Partie 1: Définition, spécifications et critères de conformité. Association Française de Normalisation, Paris.

AFNOR (2014). NF P 18-513: Métakaolin, Ajout au béton, Définitions, spécifications, critères de conformité. Association Française de Normalisation, Paris.

BRGM. (2019). Handbook on kaolin and kaolinic clays: France overview. Rapport BRGM/RP-68437-FR.

CEMBUREAU. (2023). Activity Report 2023; Cementing the European Green Deal. Brussels, Belgium. <https://cembureau.eu/media/kpgp2eqe/cembureau-activity-report-2023.pdf>

Cerema. (2019). Acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en technique routière – Les cendres de centrale thermique au charbon pulvérisé. Guide d'application, 43 p.

CMCA. (2022). Arrêté préfectoral d'autorisation d'exploiter la carrière de pouzzolane de Cayres (43). Dossier n° AP-2022-105.

Commission européenne. (2019). Le pacte vert pour l'Europe (European Green Deal). COM(2019) 640 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640>

CTPL. (2023). Données de valorisation du laitier hydraulique en France – Bilan 2023. Centre technique et de promotion des laitiers sidérurgiques.

ECOFUMÉE. (2016). La fumée de silice : origine, propriétés, utilisations. Rapport technique. Paris : Syndicat National des Producteurs de Fumée de Silice (SNFUS), 24 p.

ERMCO. European Ready Mixed Concrete Organization. <https://www.ermco.eu/>.

France Ciment. (2022). La filière cimentière engagée dans la neutralité carbone. <https://www.france-ciment.fr> (rubrique : Nos engagements climat). Consulté le 26 juin 2025.

IEA & WBCSD. (2018). Technology Roadmap: Low-Carbon Transition in the Cement Industry. International Energy Agency.

Ministère de la Transition Écologique. (2020). Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC) – Révision 2020. <https://www.ecologie.gouv.fr/strategie-nationale-bas-carbone-snbc>

Scrivener, K.L., John, V.M., & Gartner, E.M. (2018). Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO<sub>2</sub> cement-based materials industry. *Cement and Concrete Research*, 114, 2–26.

SNBPE. Syndicat National du Béton Prêt à l'Emploi. (2021). Statistiques 2021. <https://www.snbpe.org/>. Consulté le 25 juin 2025.