



**MINISTÈRE
DE L'ÉCONOMIE
DES FINANCES
ET DE LA RELANCE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

QUELLES ENTREPRISES ADOPTENT DES TECHNOLOGIES DE DÉCARBONATION DANS L'INDUSTRIE ?

ROMAIN FAQUET

-
7^{ÈME} CONFÉRENCE ANNUELLE AFSE-DG TRÉSOR

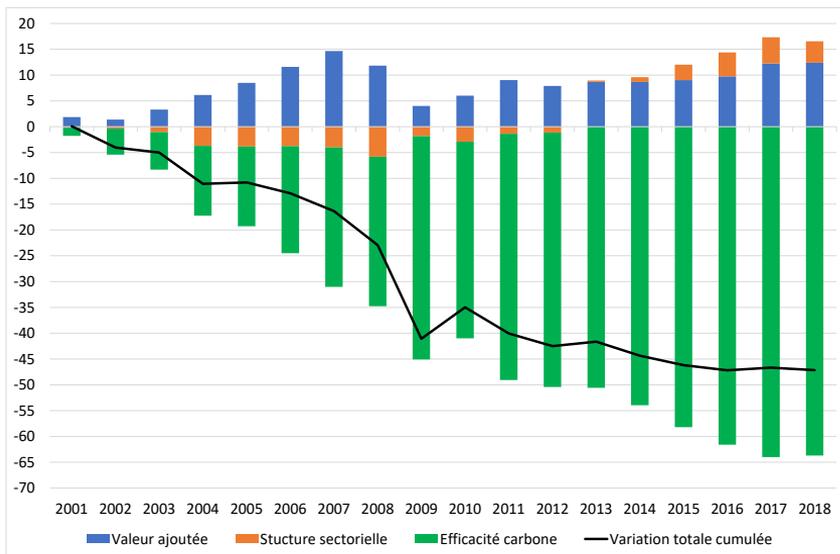
1. Motivation

Où en est la décarbonation de l'industrie ?

- L'industrie (au sens de la SNBC) a émis directement 84 MtCO₂e en 2019 soit près de 20% des émissions de GES.
- Les émissions sont liées à la combustion de l'énergie et aux procédés industriels.
- Les émissions sont concentrées sectoriellement – trois quarts viennent de trois branches – et par unité productive – trois quarts viennent des installations soumises au SEQE.
- L'industrie est le secteur dont les émissions de GES ont le plus diminué : –44% depuis 1990 contre –12% dans le reste de l'économie.
- La SNBC fixe un objectif de –35 % en 2030 et –81% en 2050 par rapport à 2015.
- Le rythme actuel de décarbonation apparaît insuffisant pour atteindre ces objectifs : il faut viser un rythme de annuel de –4,1% entre 2019 et 2030 pour atteindre l'objectif de mi-parcours. Nous en sommes loin (–1,4% en rythme annuel depuis 2013), sans compter que les objectifs seront révisés à la hausse lors de la révision prochaine de la SNBC.

La baisse des émissions de GES repose principalement sur les gains d'efficacité carbone

Graphique 1 : Contribution à la baisse cumulée des GES dans l'industrie depuis 2000 (MtCO₂e)



- Sans amélioration de l'efficacité carbone, les émissions industrielles de GES seraient aujourd'hui plus élevées qu'en 2000.
 - Hausse de la production industrielle
 - Déformation de la structure sectorielle de l'industrie
- Ces investissements de décarbonation sont soutenus par de nombreux leviers de politique économique.
 - Système européen d'échange de quotas d'émission
 - Horizon Europe, Fonds pour l'innovation
 - PIA 4, CEE, Fonds Chaleur, prêts verts BPI
 - France Relance

Source : calculs DG Trésor à partir d'une décomposition de Kaya de la forme : $GES = P \frac{GES}{P} = \sum_{i=1}^n P \frac{P_i GES_i}{P} = \sum_{i=1}^n P \cdot SS_i \cdot EC_i$

Paradoxalement, les investissements décarbonants ont été peu étudiés

- La littérature s'est concentrée sur l'impact du marché carbone sur la baisse des émissions de GES.
- Deux recherches récentes ont interrogé les caractéristiques des entreprises qui déploient des investissements anti-pollution
 - Sur données suédoises, Jaraité *et al.* (2014) montrent que la réalisation d'investissements de protection de l'air croît avec la taille de l'entreprise, son intensité énergétique et son appartenance au SEQE.
 - Sur données françaises, Dussaux (2020) montre que la hausse des prix de l'énergie incite les installations industrielles à investir dans des investissements de neutralisation de la pollution de l'air.
- Notre étude contribue à cette réflexion à trois égards :
 - Elle se concentre explicitement sur les investissements de décarbonation en s'appuyant sur une question posée aux entreprises depuis quelques années dans l'enquête Antipol de l'INSEE.
 - Elle considère un ensemble riche de déterminants de ces investissements, grâce à un appariement des données à la maille de l'entreprise.
 - Elle modélise conjointement la probabilité d'adoption de technologies de décarbonation et l'intensité des investissements.

2. Données

Bases mobilisées (1/2)

Les données d'investissements de décarbonation dans l'industrie issues de l'enquête ANTIPOL sont appariées entre 2013 et 2018 avec trois autres bases de données :

- les données exhaustives des liasses fiscales (base FARE) qui fournissent des informations structurelles sur les entreprises françaises (bilan, compte de résultat, emploi)
- les données de consommation d'énergie dans l'industrie (base EACEI)
- la liste des établissements industriels français soumis au SEQE – cette dernière base est publique et disponible sur le site de la Commission Européenne.

Sont retenus dans cette étude les investissements de décarbonation au sens strict, c'est-à-dire les investissements dédiés à la limitation des GES, soit 311 M€ en 2019 dans la base ANTIPOL (soit la deuxième destination des investissements anti-pollution sur un total de 1,3 Md€).

Bases mobilisées (2/2)

Base ANTIPOLE

- 11 000 établissements industriels de 20 salariés ou plus interrogés chaque année
- Divisions 5 à 35 de la NAF rev.2.
- Échantillon renouvelé par tirage dans une base de sondage (modifiée en 2012) selon un plan stratifié par taille et secteur, avec exhaustivité pour les établissements de plus de 250 salariés
- Investissements ventilés par nature (spécifique, intégré) et par domaine concerné (pollution de l'air, eau usées, GES, déchets, etc.)

Base EACEI

- 8500 établissements industriels de 20 salariés ou plus interrogés chaque année
- Divisions 7 à 33 hors 19 de la NAF rev.2.
- Échantillon renouvelé par tirage dans une base de sondage (modifiée en 2013) selon un plan stratifié par taille et secteur, avec exhaustivité pour les établissements de plus de 250 salariés et/ou forts consommateurs.
- Données à la fois sur les quantités d'énergie consommées et les dépenses liées à ces consommations.

Construction de l'échantillon (1/2)

L'appariement des quatre bases est réalisé sur le SIREN.

- Les bases ANTIPOLE et EACEI étant enquêtées à la maille des établissements, les données des établissements de ces bases partageant le même SIREN sont agrégées.
- Se pose alors la question de la représentativité de ces données agrégées d'investissements et de consommation d'énergie car tous les établissements d'une entreprise ne sont pas enquêtés (d'autant plus si l'unité légale associée n'a pas d'activité industrielle principale).
- Seuls sont conservés les regroupements d'établissements dont les effectifs agrégés issus des bases EACEI et ANTIPOLE représentent chacun entre 90% et 110% des effectifs de l'unité légale dans FARE.

Table 1: Steps in the matching of the four databases

<i>Firm-year observations</i>	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Before filtering	3546	3456	3531	4511	3620	3621
After filtering	1601	1528	1750	2154	1159	1034
Final dataset	8918					

Source: DG Trésor calculations.

Construction de l'échantillon (2/2)

La variable d'intérêt est le taux d'investissement en technologies de décarbonation, calculé comme le rapport des dépenses d'investissement à la valeur ajoutée en valeur.

Les variables explicatives sont les suivantes (effet attendu entre parenthèses)

- La taille de l'entreprise : effectifs (+)
- La productivité du travail : rapport entre le valeur ajoutée en volume et les effectifs (+)
- La profitabilité : rapport entre l'EBE et la valeur ajoutée en valeur (+)
- L'âge : écart à la date de création (+/-)
- L'intensité énergétique carbonée : rapport entre la consommation d'énergie carbonée (gaz, charbon, produits pétroliers) et la valeur ajoutée en volume, retardée d'une année (+)
- Le coût moyen de l'énergie carbonée : rapport entre les dépenses d'énergie carbonée et les quantités consommées, retardé d'une année (+)
- Appartenance au SEQE : indicatrice (+)

Statistiques descriptives (1/3)

Table 2: Characteristics of firms making and not making decarbonization investments in a given year

	Non-adopters			Adopters, total investments			Total sample		
	P10	P50	P90	P10	P50	P90	P10	P50	P90
Size (employees)	35	128	432	80	283	1383	37	140	511
Labor productivity (K€)	36.9	58.9	106.0	42.2	69.7	127.0	37.4	60.1	109.2
Profit margin (%)	-8.1	21.0	47.5	-1.0	26.0	52.3	-7.3	21.7	48.2
Energy intensity (toe/M€)	0	17.1	177.0	1.6	30.3	366	0	18.2	196.5
Average energy cost (€/toe)	0	523.7	837.4	301.7	480.6	719.3	0	516.1	826.5
Age (years)	11	29	58	12	30	59	11	29	58
EU ETS membership (%)	5.6			15.3			6.9		
<i>Firm-year observations</i>									
All sectors	7770			1148			8918		
Chemical industry	743			156			899		
Equipment goods and transport equipment	1028			274			1302		
Food industry	1359			269			1628		
Metallurgy	1776			135			1911		
Non-metallic minerals	599			61			660		
Wood and paper	407			100			507		
Other industries	1858			153			2011		

Source: DG Trésor calculations.

Note: P10, P50, P90 represent respectively the first decile, the median, and the last decile. For example, the median size of firms in our total sample is 140 employees. Within this sample, firms that make green investments ("adopters") in a given year have a median size of 283 employees, compared to 128 for those that do not adopt these technologies ("non-adopters").

Statistiques descriptives (2/3)

	Adopters, specific investments			Adopters, integrated investments		
	P10	P50	P90	P10	P50	P90
Size (employees)	113	352	1859	71	245	1081
Labor productivity (K€)	45.3	73.9	142.6	40.6	66.5	118.4
Profit margin (%)	0.0	27.0	52.9	-1.0	25.8	52.0
Energy intensity (toe/M€)	1.7	32.7	500.1	1.2	27.6	309.7
Average energy cost (€/toe)	281.7	465.4	669.5	32207	488.3	727.7
Age (years)	11	30	59	13	30	59
EU ETS membership (%)	19.5			12.2		
<i>Firm-year observations</i>						
All sectors	614			663		
Chemical industry	91			77		
Equipment goods and transport equipment	168			148		
Food industry	128			164		
Metallurgy	75			72		
Non-metallic minerals	32			33		
Wood and paper	59			63		
Other industries	61			106		

Source: DG Trésor calculations.

Note: P10, P50, P90 represent respectively the first decile, the median, and the last decile. For example, within the firms that decarbonize, those that make specific investments in a given year have a median size of 352 employees compared to 245 for those that make integrated investments.

Statistiques descriptives (3/3)

Table 3: Frequency and distribution of annual decarbonization investments

		Specific investments	Integrated investments	Total investments
Adoption (%)		6.9	7.4	12.9
Investment if adoption (K€)	Mean	169	83	138
	P10	4	2	3
	P50	43	20	33
	P90	395	200	330
	P95	730	356	601
	P99	2000 (2871)	1000 (1822)	1847 (2672)
Investment ratio if adoption (% VA)	Mean	0.8	0.6	0.8
	P10	0.01	0.01	0.01
	P50	0.1	0.1	0.2
	P90	1.1	1.1	1.2
	P95	2.2	2.5	2.5
	P99	7.3 (30.5)	9.9 (18.3)	9.9 (29.0)

Source: DG Trésor calculations.

Note: P10, P50, P90, P95 and P99 represent respectively the first decile, the median, the last decile, and the 95th and 99th percentiles of the distribution of investment variables. For the last percentile the average value of the variables is also given in brackets.

3. Modèle économétrique

Justification et écriture du modèle (1/2)

La méthode économétrique mobilisée est un modèle de sélection en panel. Pourquoi?

- Les statistiques descriptives montrent un point masse en zéro dans la distribution des investissements de décarbonation, ce qui écarte l'utilisation d'un modèle linéaire sur l'échantillon total.
- Passer un modèle linéaire sur le sous-échantillon des entreprises qui réalisent des investissements de décarbonation est également à écarter : il n'y a aucune raison de supposer *a priori* que l'adoption de technologies de décarbonation est aléatoire.
- La neutralisation de cet effet de sélection est résolue par la modélisation jointe de la probabilité d'investir et de l'intensité de ces investissements, dont une estimation convergente en deux étapes a été proposée sur données de coupe par Heckman (1976). Cette méthode a été étendue par Wooldridge (1995) aux données de panel.

Justification et écriture du modèle (2/2)

Le modèle s'écrit :

$$\begin{cases} D_{it}^* = Z_{it}\gamma + \eta_i + u_{it} ; D_{it} = 1 \text{ si } D_{it}^* > 0 \\ I_{it} = X_{it}\beta + \alpha_i + \varepsilon_{it} \text{ si } D_{it} = 1 \end{cases}$$

- La première équation décrit le choix d'investir ou non basé sur une variable indicatrice d'adoption D_{it} . D_{it}^* est la variable latente qui modélise l'arbitrage sous-jacent à la décision d'investir, en fonction d'un vecteur de variables explicatives Z_{it} , un terme d'hétérogénéité individuelle et une erreur idiosyncratique. Z_{it} contient les variables explicatives présentées précédemment, plus une indicatrice d'utilisation d'énergie carbonée et des indicatrices temporelles et sectorielles.
- La seconde équation modélise linéairement le taux d'investissement en fonction d'un vecteur de variables explicatives X_{it} , un terme d'hétérogénéité individuelle et une erreur idiosyncratique. X_{it} contient les mêmes variables que Z_{it} , à l'exception de l'indicatrice de consommation d'énergie carbonée.

Méthode d'estimation (1/2)

En 1995, l'économètre J. Wooldridge a démontré que l'estimateur convergent en deux étapes d'Heckman des modèles de sélection pouvait être adapté aux données de panel, modulo un jeu d'hypothèses relativement peu contraignant et parcimonieux. L'estimateur s'obtient concrètement par les deux étapes suivantes :

- Étape 1

Estimation par un probit à erreurs aléatoires d'une version transformée de l'équation de sélection.

$$D_{it} = 1 \text{ si } D_{it}^* = Z_{it}\gamma + \bar{Z}_i\delta + v_{it} > 0 \text{ avec } \bar{Z}_i = \frac{1}{T}\sum_1^T Z_{it} \text{ et } v_{it} \sim N(0, \sigma_v^2)$$

Dans cette version, l'hétérogénéité individuelle n'est plus exclusivement inobservée mais divisée en une partie modélisée explicitement en fonction des moyennes temporelles des variables explicatives et une partie résiduelle purement aléatoire.

Méthode d'estimation (2/2)

- Étape 2

Estimation par moindres carrés généralisés d'une version augmentée de la seconde équation du modèle, également à erreurs aléatoires, sur le sous-échantillon des entreprises adoptantes.

Pour $D_{it} = 1$,

$$I_{it} = X_{it}\beta + \bar{X}_i\psi + \omega\hat{\lambda}_{it} + e_{it} \text{ avec } \bar{X}_i = \frac{1}{T}\sum_1^T X_{it} \text{ et } \hat{\lambda}_{it} = \frac{\varphi\left(\frac{Z_{it}\hat{\gamma} + \bar{Z}_i\hat{\delta}}{\hat{\sigma}_v}\right)}{\Phi\left(\frac{Z_{it}\hat{\gamma} + \bar{Z}_i\hat{\delta}}{\hat{\sigma}_v}\right)}$$

φ et Φ étant respectivement la fonction de densité et la fonction de répartition de la loi normale.

Les λ_{it} sont appelés ratios de Mills inversés. Issus du probit de la première étape, ils permettent de corriger du biais de sélection, *i.e.* le caractère non aléatoire des caractéristiques des entreprises adoptantes.

4. Résultats principaux

Probabilité d'adoption : marge extensive (1/2)

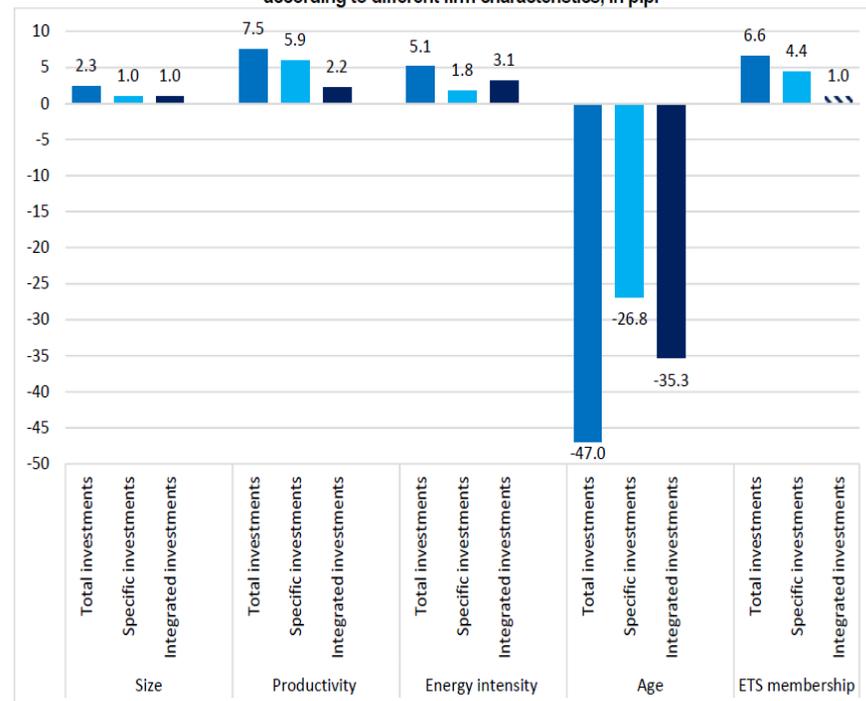
Table 4a: Main results of the selection equation (first stage: extensive margin)

	Total investments		Specific investments		Integrated investments	
	Coeff.	p-value	Coeff.	p-value	Coeff.	p-value
Size	3.4 10 ⁻⁴	0.01	2.8 10 ⁻⁴	0.00	2.1 10 ⁻⁴	0.00
Labor productivity	0.49	0.00	0.69	0.00	0.21	0.06
Profit margin	-0.26	0.12	-0.46	0.02	-0.02	0.93
Energy intensity	0.07	0.00	0.05	0.09	0.06	0.02
Average energy cost	-0.11	0.03	-0.04	0.65	-0.06	0.30
Energy use dummy	0.22	0.59	-0.20	0.73	-0.04	0.93
EU ETS membership	0.41	0.00	0.47	0.00	0.09	0.50
Age	-0.07	0.01	-0.06	0.06	-0.06	0.00
Individual heterogeneity (Mundlak-type)	yes	0.00	yes	0.01	yes	0.00
Sectoral dummies	yes	0.00	yes	0.00	yes	0.00
Time dummies	yes	0.02	yes	0.06	no	0.24
Rho	0.44		0.45		0.39	
Firm-year observations	8918					

Source: DG Trésor estimates.

Note: The p-values are associated with the test of the nullity of the coefficient for each explanatory variable, and the joint nullity of the coefficients for individual heterogeneity and the sectoral and time dummies. All these tests are based on robust standard errors clustered at the firm level. Rho is the proportion of the variance of the error term that is contributed by the random effect.

Figure 2: Difference in estimated probability of adoption between first and last deciles firms according to different firm characteristics, in p.p.



Source: DG Trésor estimates.

Note: The estimated probability of adopting decarbonization technologies in high productivity firms (top decile) is 7.5 percentage points higher than in low productivity firms (bottom decile), holding all other firm characteristics at their means. Bars are hatched if the underlying coefficient is not statistically significant.

Probabilité d'adoption : marge extensive (2/2)

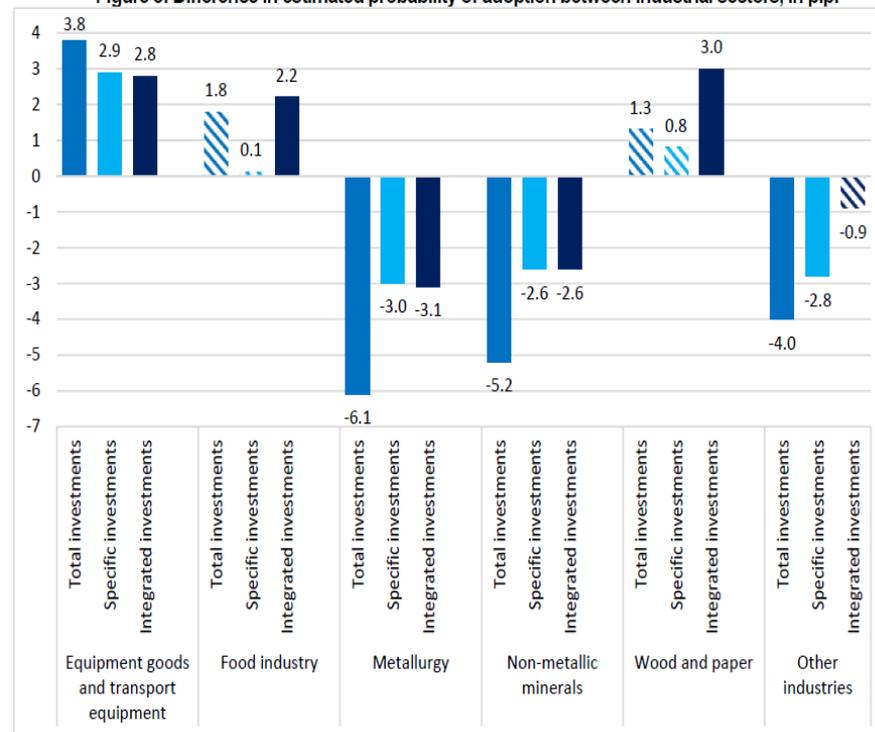
Table 4b: Sectoral dummies of the selection equation

	Total investments		Specific investments		Integrated investments	
	Coeff.	p-value	Coeff.	p-value	Coeff.	p-value
Equipment goods and transport	0.22	0.05	0.27	0.04	0.23	0.06
Food industry	0.11	0.30	0.01	0.93	0.19	0.10
Metallurgy	-0.49	0.00	-0.43	0.00	-0.37	0.00
Non-metallic minerals	-0.39	0.00	-0.35	0.03	-0.30	0.05
Wood and paper	0.08	0.56	0.08	0.63	0.25	0.09
Other industries	-0.29	0.01	-0.40	0.00	-0.10	0.42

Source: DG Trésor estimates.

Note: The p-values are associated with the test of the nullity of the coefficient for each explanatory variable. The chemical industry is the reference category.

Figure 3: Difference in estimated probability of adoption between industrial sectors, in p.p.



Source: DG Trésor estimates.

Note: The estimated probability of adopting decarbonization technologies in the minerals sector is 5.2 percentage points lower than in the chemical industry, holding all other firm characteristics at their means. Bars are hatched if the underlying coefficient is not statistically significant.

Taux d'investissement : marge intensive

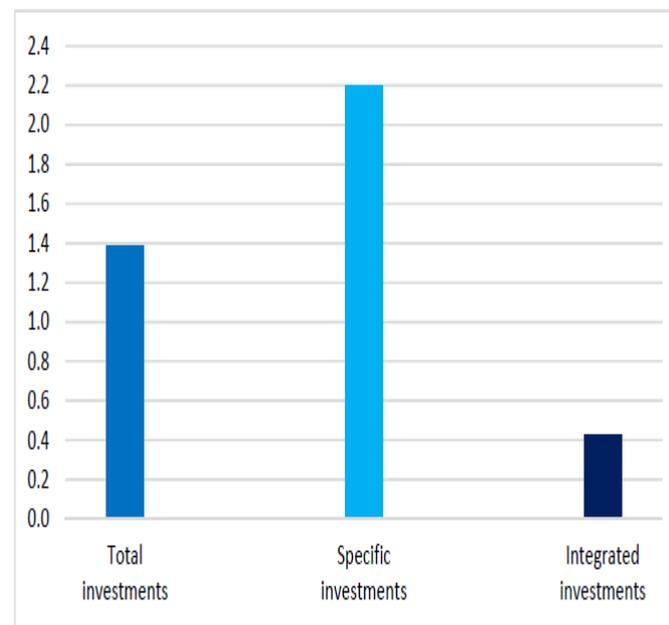
Table 5: Main results of the investment equation (second stage: intensive margin)

	Total investments		Specific investments		Integrated investments	
	Coeff.	p-value	Coeff.	p-value	Coeff.	p-value
Size	2.21 10 ⁻⁶	0.14	2.85 10 ⁻⁶	0.18	4.2 10 ⁻⁶	0.10
Labor productivity	0.005	0.28	0.007	0.49	0.01	0.10
Profit margin	-0.006	0.44	-0.005	0.57	-0.003	0.55
Energy intensity	0.004	0.01	0.005	0.02	0.003	0.04
Average energy cost	-0.001	0.21	0.0008	0.64	-0.002	0.05
EU ETS membership	0.004	0.35	0.003	0.61	0.002	0.56
Age	9.3 10 ⁻⁵	0.13	0.0001	0.22	4.0 10 ⁻⁵	0.18
Inverse Mills ratio	0.02	0.02	0.02	0.13	0.04	0.02
Individual heterogeneity (Mundlak-type)	no	0.20	no	0.14	no	0.62
Sectoral dummies	yes	0.01	yes	0.01	yes	0.08
Time dummies	yes	0.12	yes	0.05	yes	0.08
Rho	0.97		0.99		0.88	
Firm-year observations	1148		614		663	

Source: DG Trésor estimates.

Note: The p-values are associated with the test of the nullity of the coefficient for each explanatory variable, and the joint nullity of the coefficients for individual heterogeneity and the sectoral and time dummies. All these tests are based on bootstrapped standard errors (clustered at the firm level). Rho is the proportion of the variance of the error term that is contributed by the random effect.

Figure 4: Change in firm's estimated investment rate in decarbonization technologies when energy intensity moves from the first decile to the last decile of its distribution, in p.p.



Source: DG Trésor estimates.

Note: The estimated investment rate in decarbonization technologies for high energy-intensive firms (top decile) is 1.4 percentage point higher than for low energy-intensive firms (first decile).

5. Limites et prolongements

Limites et prolongements

- Cette étude présente des limites
 - Taille de l'échantillon, non cylindrage
 - Mesure des investissements de décarbonation
 - Non prise en compte des dispositifs de subventions publiques (*a fortiori* de France Relance).
- Le sillon a été creusé au maximum avec les données Antipol. Malheureusement les études demeurent rares sur ce sujet en France et à l'international.
- Nous avons collectivement besoin de disposer de plus de données individuelles pour étudier ces investissements de décarbonation. Des montants inédits sont alloués dans France Relance pour augmenter les investissements décarbonants dans l'industrie. Leur évaluation, nécessaire, permettra de mieux comprendre ces investissements et l'effet déclencheur des soutiens publics à la décarbonation (cf. Premier rapport du Comité d'évaluation du plan France Relance, octobre 2021)



**MINISTÈRE
DE L'ÉCONOMIE
DES FINANCES
ET DE LA RELANCE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Merci pour votre attention !

Pour plus d'informations :

www.tresor.economie.gouv.fr

