

## Partie 1 – Évaluation non destructive des matériaux

# ESTIMATION DE LA RÉSISTANCE À LA COMPRESSION DU BÉTON PAR DES ESSAIS NON DESTRUCTIFS ET CAROTTAGE : CAS D'UN OUVRAGE EN R+2

## ESTIMATION OF THE COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE BY NON-DESTRUCTIVE TESTING AND CORING: CASE OF A TWO FLOORS BUILDING

**S. KENAI<sup>a\*</sup>, H. BENHAMMOUDA<sup>a</sup>, LATROUS M<sup>a</sup>, K. ALI-BENYAHIA<sup>b</sup>, M. GHRICI<sup>b</sup>**

a. Laboratoire de Géomatériaux et Génie Civil (GOMAT), Université de Blida, Algérie

b. Laboratoire de géomatériaux, Université de Chlef, Algérie

\* auteur correspondant : sdkenai@yahoo.com

### RÉSUMÉ

La qualité de béton dans les chantiers de construction en Algérie est généralement moyenne à faible. Ceci est mis en évidence par les cas pathologiques, sinistres et effondrement suite aux séismes et autres catastrophes naturelles. Afin de s'assurer d'une bonne qualité de béton sur site ou en cas de non-conformité, des essais non destructifs (NDT) sont réalisés. Cependant, l'estimation de la résistance à la compression du béton à partir des essais NDT est difficile. Des abaques et des corrélations pour l'estimation de la résistance à la compression sont disponibles. Cependant, ces corrélations ont été développées pour des bétons de classes de résistance généralement plus élevés que ceux observés dans les chantiers Algériens et pour des matériaux et conditions de mise en œuvre différents. Cet article analyse la qualité du béton par des essais non destructifs et prélèvement de carottes sur des poteaux et poutres d'une structure existante en voie de démolition. Plus de 3000 mesures au scléromètre et plus de 400 mesures à l'ultrason ont été réalisées. En plus, 203 carottes ont été prélevées et écrasées au laboratoire. Une grande dispersion des résultats a été observée montrant ainsi la variabilité de la qua-

lité de béton dans l'ouvrage et même entre les différents niveaux et dans les éléments eux mêmes. Des corrélations ont été développées et comparées aux corrélations existantes dans la littérature. Les résultats ont montré que l'utilisation des corrélations disponibles dans la littérature surestime la résistance à la compression du béton.

### ABSTRACT

Concrete quality in Algerian construction sites is generally of medium to low quality. This has been proved through building failures after different earthquakes. In order to ensure a good concrete quality and in case of doubt or non-conformity destructive tests (NDT) are performed. However, the strength estimation based on NDT tests is difficult because of the variability in concrete quality within a structure or even within elements and the variability in the tests themselves. Curves and correlations are available to estimate the strength. However, these correlations were developed for concrete strength classes that are generally higher than those observed in Algerian sites and for different materials and fabrication conditions. In this paper,

*NDT tests using Schmidt hammer and ultrasonic velocity were performed on columns and beams of an existing structure. More than 3000 Schmidt hammer measurements and 400 Ultrasonic measurements were performed. In addition, 203 cores were extracted and tested. High variability of concrete quality was observed within the structure and even within the floors and different structural elements. Correlations between NDT tests and cores strength were developed and compared to those proposed by the equipment manufacturers and other researchers. The results showed that the use of available correlations overestimate the strength of concrete.*

**Mots-clés:** Béton ; résistance à la compression, essais non-destructif, scléromètre, ultrason, carottes, corrélations

**Keywords:** Concrete, compressive strength, non-destructive tests, Schmidt hammer, ultrasonic pulse velocity, cores, correlations.

\* \* \*

## 1. INTRODUCTION

En Algérie, plusieurs études statistiques ont montré que la qualité du béton produit dans les chantiers Algériens est moyenne, et que cette qualité inadéquate, est responsable de plusieurs cas pathologiques [1], avec une résistance qui n'atteint pas généralement celle préconisée par la réglementation [2]. La mauvaise qualité du béton semble être due à la qualité médiocre des agrégats utilisés outre l'influence des conditions de transport, des moyens de fabrication et des conditions climatiques.

Une amélioration de la technologie du béton reste à faire, et cette situation produit des cas de non-conformité et des conflits entre les différents intervenants. Par conséquent, il est fait recours à des essais non destructifs qui se démarquent par leurs avantages en terme de rapidité d'utilisation, de coût et de la caractérisation des bétons afin de s'assurer de la conformité ou l'étendu de la non-conformité en particulier l'essai sclérométrique et ultrasonique. Cependant, l'estimation de la résistance à la compression à partir de ces essais est difficile en raison des multitudes de corrélations et abaques disponibles dans la littérature. Ceci est dû aux problèmes de précision des techniques d'application, d'étalonnage des appareils et de l'hétérogénéité du matériau.

Plusieurs chercheurs ont développés des modèles de corrélations empiriques reliant les résistances du béton aux mesures non destructives correspondantes [3]. Chacun de ces modèles tient compte de l'environnement, des matériaux utilisés [4] et de différents facteurs pouvant affecter les mesures tel que l'état de surface, la forme, l'âge, l'humidité, le dosage en granulats ou en ciment, le rapport E/C ou encore les conditions de durcissement du béton [5, 6]. Cependant, lors de l'utilisation de ces modèles pour le béton des chantiers Algériens, les résultats obtenus sont contradictoires avec ceux observés par les essais sur carottes. Ceci indique clairement la nécessité de développer des corrélations spécifiques aux bétons à base des

matériaux locaux et qui reflètent les conditions et les pratiques de chantiers locaux.

Cet article présente une étude pour élaborer des corrélations reliant des essais non destructifs, et des essais destructifs (essais de compression), en combinant la vitesse d'impulsion ultrasonique, l'indice de rebondissement sclérométrique avec la résistance à la compression des carottes prélevées sur différents éléments d'une structure existante. Une étude statistique a été effectuée, montrant le coefficient de variation et l'écart type des différents résultats obtenue afin de déterminer l'étendue de leurs dispersions.

## 2. ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

Les essais non destructifs (NDT) ont été effectué en utilisant un scléromètre Schmidt de type N34 et un ultrason de type E46. Pour l'essai d'écrasement, 203 carottes de 75 mm de diamètre et de 150 mm de longueur ont été prélevées dans les zones testées par les NDT. Les dimensions géométriques et le poids des carottes ont été mesurés avant l'écrasement à l'aide d'une presse de 3000 kN. Des mesures sclérométriques et ultrasoniques ont été effectuées sur les carottes avant les essais d'écrasement afin de les comparer avec celles mesurées sur éléments.

## 3. PRÉSENTATION DE L'OUVRAGE

Le cas d'étude objet de cette recherche est un ouvrage à usage de bureaux, situé dans une zone industrielle de la région de Blida en Algérie. Cette construction est constituée de deux blocs jointoyés de R+2 et R+1 en béton armé, dépourvue de maçonneries et s'étendent sur une surface de 856 m<sup>2</sup>. Le premier bloc possède une cage d'escalier allant du RDC à la terrasse du 2eme étage, par contre le deuxième bloc lui présente 2 cages d'escaliers allant du RDC au premier étage, avec des dimensions de poteaux de 30\*30 et de poutres de 30\*45.

## 4. ÉTUDE STATISTIQUE

Pour les poteaux, les essais NDT ont été effectués sur le bas, la mi-hauteur et le haut. Pour les poutres, les mesures sont réalisées sur la gauche, la mi-travée et la droite. La mesure de la vitesse a été par la méthode directe. La répartition des essais sclérométriques, ultrasoniques et écrasement est représentée dans le tableau 1.

Une analyse statistique a été effectuée dans le but de montrer l'étendue de la dispersion des résultats obtenus par scléromètre, ultrason et écrasement de carottes en se basant sur la moyenne, de l'écart type et le coefficient de variation 'Cv' (Tableau 2).

On remarque que la résistance à la compression du béton correspondant au cylindre sur les carottes prélevées de cet ouvrage est moyenne à faible (moyenne=17 MPa). Aussi, une dispersion très élevée des résultats a été observée sur les essais d'écrasements des carottes (Cv=35%). Cependant, l'indice sclérométrique moyen mesuré sur les

Essais	Zones mesurés						Total
	Poteaux			Poutres			
	Bas	Mi-ht	Haut	Gauche	Mi-tr	Droite	
Scléromètre	111	111	82	40	43	42	429
Ultrason	110	111	68	39	40	39	407
Ecrasement	41	40	40	24	38	20	203

**Tableau 1 : Répartition du nombre de zones mesurées**

Variables	Moyenne	Ecart type	Cv (%)
<b>I</b>	33,3	4,8	14
<b>V (m/s)</b>	3644	344	9
<b>Rc (MPa)</b>	17.13	5,94	35

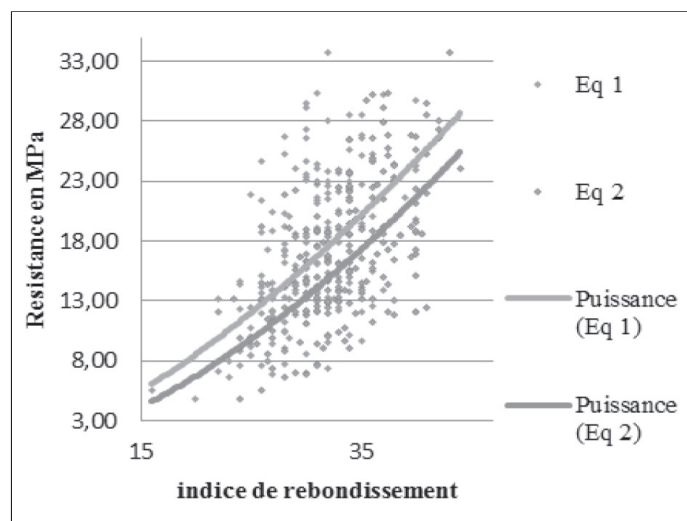
**Tableau 2 : Résultats de l'analyse statistique**

éléments est de 33,3. La vitesse moyenne à l'ultrason mesurée sur les poteaux et les poutres est de 3644 m/s ; elle est caractéristique d'un béton de bonne qualité avec une dispersion moyenne. Il est à noter que les essais NDT mesurés sur les carottes ont montré généralement des indices sclérométriques plus élevés que ceux mesurés sur les éléments et des vitesses ultrasoniques plus faibles. Aucune différence importante n'a été observée entre les résultats des NDT sur les poteaux et les poutres. Par contre, une légère différence a été observée entre les différents étages, probablement en raison du coulage simultané des poutres, contrairement aux poteaux.

## 5. ANALYSE DES RÉSULTATS

Les corrélations visées ont été obtenues en effectuant des combinaisons de Variables  $R_c = f(I)$  et  $R_c = f(V)$ , elles ont été déterminées en fonction de tous les éléments, toutes les carottes, par poteaux, par poutres et par blocs. La **Figure 1** montre la comparaison des modèles de corrélations développées entre les résistances à la compression par écrasement ' $R_c$ ' et les indices de rebondissement ' $I_c$ ' correspondants sur carottes (Eq. 1), avec celle développées sur éléments (Eq. 2).

$$R_c = 0,086 * I_c^{0,532} \dots\dots\dots \text{Eq 1}$$



**Figure 1 : Corrélations Développées pour Éléments et Carottes**

$$R = 0,043 * I_c^{1,684} \dots\dots\dots \text{Eq 2}$$

Cependant, La **Figure 2** présente la compare entre les corrélations développées entre les résistances à la compression par écrasement ' $R_c$ ' et les Vitesses ultrasoniques ' $V_c$ ' correspondantes sur carottes données (Eq. 3) avec celle développée sur éléments (Eq. 4).

$$R = 1,233e^{0,66 * V_c} \dots\dots\dots \text{Eq 3}$$

$$R = 0,455 * V_c^{2,753} \dots\dots\dots \text{Eq 4}$$

D'après la **Figure 1**, on peut conclure que les deux corrélations sont faibles ( $r = 0.622$  et  $r = 0.563$ ). On constate aussi que le coefficient de corrélation est plus élevé pour les éléments que pour les carottes. Cependant, l'estimation de la résistance par les essais au scléromètre sur carottes donne des résistances plus élevées que l'estimation sur éléments. Les essais sur carottes sont plus représentatifs que sur éléments.

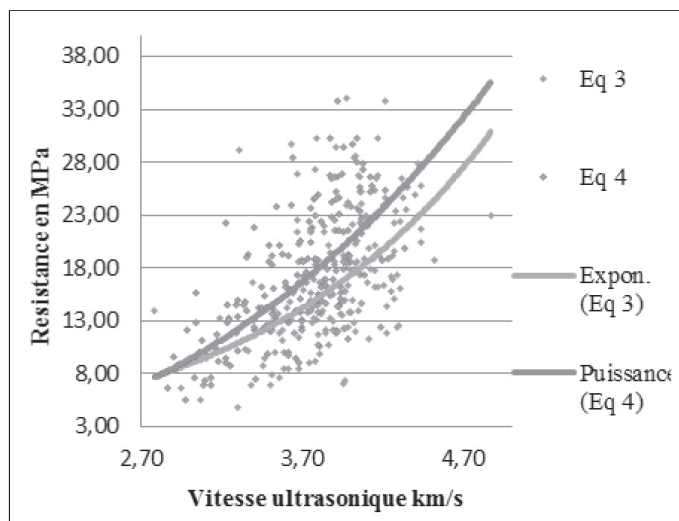
Les deux corrélations de la vitesse (**Figure 2**) sont aussi faibles ( $r=0,688$  et  $r=0,55$ ). On constate que la résistance estimée par les essais ultrasoniques sur éléments est plus élevée que la résistance estimée par des mesures ultrasoniques sur carottes et ce contrairement à ce qui a été trouvé pour les essais sclérométriques. Les mesures sur éléments sont affectées par l'état de la surface des éléments contrairement aux carottes bien sciées et surfacées. La présence probable de microfissures lors du carottage diminue la vitesse ultrasonique sur les carottes.

Il faut noter que le regroupement des résultats par poteaux a donné un meilleur coefficient de corrélation pour I et V respectivement de 0,737 et 0,715. Pour les poutres, le coefficient de corrélation est de 0,726 et 0,773 respectivement pour I et V.

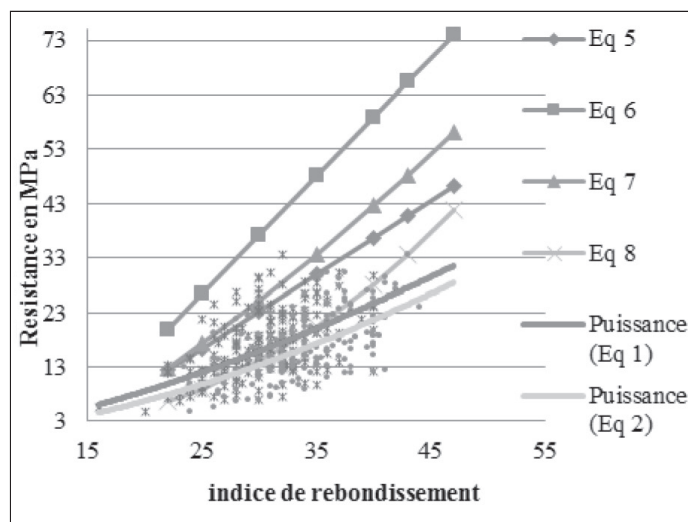
Pour effectuer une étude comparative nous avons comparé les corrélations obtenues  $R_c=f(I)$  et  $R_c=f(V)$  avec celles proposées par d'autres chercheurs sur des différents bétons.

Les **Figures 3** et **4** montrent les comparaisons entre les corrélations trouvées dans notre étude (Eqs de. 1 à 4) et les modèles donnés par les équations : (5, 6, 7, 8, 9, 10 et 11) développées par d'autres chercheurs [4, 7-10],

La **Figure 3** présente les courbes de corrélations entre la ' $R_c$ ' et ' $I$ '. On remarque que tous les modèles proposés



**Figure 2 : Corrélations Développées pour Éléments et Carottes**



**Figure 3 : Comparaison des corrélations obtenues avec celles D'autres chercheurs**

suresiment la résistance car l'estimation est basée sur des éprouvettes et sur des bétons de classes de résistances différentes avec des matériaux de compositions différentes de celles utilisées dans les chantiers algériens.

La corrélation **Eq 8** développée sur des bétons similaires sur des éléments structuraux dans la région du centre algérien est celle qui donne une estimation la plus proche au modèle de cette étude. Ceci montre clairement la nécessité de développer des relations basées sur les matériaux locaux et tenant compte des conditions de mise en œuvres et de l'environnement local.

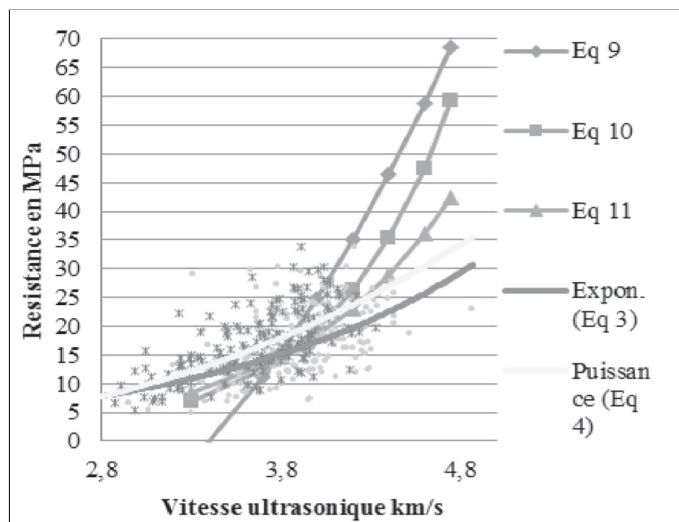
L'utilisation des abaques de l'appareil **Eq 7**, qui est souvent le cas sur nos chantiers, surestime la résistance et par conséquent présente un risque dans le cas d'évaluation post sismique ou changement d'usage.

La **Figure 4** présente les courbes de corrélations entre '**Rc**' et '**V**'. On remarque que pour les vitesses faibles, les modèles sont proches. Cependant, tous les modèles surestiment la résistance par rapport au modèle proposé dans cette étude. Le modèle de l'**Eq 11** développé sur des éléments structuraux de la région du centre Algérien utilisant des matériaux similaires et dans des conditions environnementales similaires est le modèle le plus proche au modèle développé.

L'équation **Eq 10** proposée par Dreux souvent utilisé par les organismes de contrôle de la construction, bureaux d'études et laboratoires de béton, sous-estime la résistance dans la zone de faible vitesse (3000 à 3800 m/sec) et sur-estime celle des vitesses plus élevés (>4000 m/sec).

## 6. ANALYSE DES RÉSULTATS DE LA COMBINAISON DES DEUX ESSAIS NDT

Les résultats obtenus par la méthode combinée (Scléromètre-Ultrasoun-Ecrasement) donnent généralement un coefficient de corrélation plus élevé et une erreur type moins élevée comparativement aux méthodes uni paramétriques [11-134] ce qui permet aussi d'affiner le diagnostic.



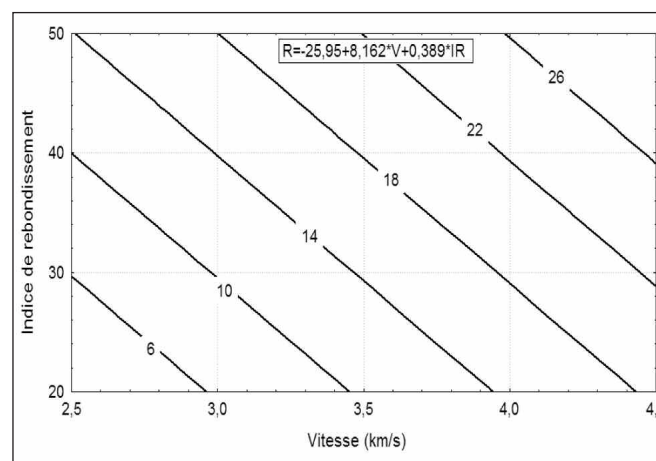
**Figure 4 : Comparaison des corrélations obtenues avec celles D'autres chercheurs**

La corrélation développée par la méthode combinée ( $r=0,68$ ) a été établie entre les résistances à la compression par écrasement '**Rc**' des carottes prélevées sur les éléments structuraux de l'ouvrage, d'une part et d'autre part les mesures d'auscultations correspondantes (indice de rebondissement '**I**' & vitesse ultrasonique '**V**'). Ce modèle est basé sur des échantillons prélevés sur des éléments d'ouvrage existant et il est présenté sous forme graphique par la **Figure 5** et sous forme d'expression analytique par l'**Eq 12** de forme linéaire.

$$R = -25,95 + 8,162 \cdot V + 0,389 \cdot I \dots \dots \dots \text{Eq 12}$$

## 7. CONCLUSION

L'analyse des résultats obtenus a montré que les mesures sur les carottes ont généralement des indices '**I**' plus élevés que ceux mesurés sur les éléments et des vitesses '**V**' plus faibles. Les résultats ont montré l'inadaptation des corrélations proposées par les fabricants d'appareils de mesures non destructives et la nécessité de développer des corrélations en utilisant la méthode combinée sur des bétons de chantier.



**Figure 5 : Courbe de corrélation combinée (Rc-V-I)**

## RÉFÉRENCES

- [1] N. Hannachi, S. Kenai, M. Lechani, “*Etude statistique des sinistres dans l’EST de l’Algérois*”, Annales de l’institut national du bâtiment et des travaux publics, Juin 1995. 25p. Algérie.
- [2] M. Lechani, N. Hannachi, N. Yantren “ *Contrôle de la qualité de béton cas de wilaya de Tiziouzeu*”, Ecole national des travaux publics 1983. Algérie.
- [3] V. Luprano, V. Pfister, A. Tati, A. Tundo “*A statistical study for the correlation of non- destructive testing and destructive testing on structures in concrete* “, ENEA, Brindisi Research Center, Brindisi, Casaccia Research Center, S. Maria di Galeria (Rome), Italy, 2012.
- [4] K. Ali Benyahia, “ *Corrélation entre Essais non Destructifs et Essais Destructifs du Béton à Faible Résistance* “, Mémoire de Magister, Université de Chlef, Mai 2010. Algérie.
- [5] V. Mohan Malhotra, “*Surface hardness method* “, Department of Natural Resources Canada, Ottawa, Handbook on non-destructive testing, 2004.
- [6] Tarun R. Naik, V. Mohan Malhotra, John S. Popovics, “ *The Ultrasonic Pulse Velocity Method*“, University of Wisconsin–Milwaukee, Department of Natural Resources Canada, Ottawa

University of Illinois at Urbana–Champaign, Handbook on non destructive testing, 2004.

- [7] H.Y. Qasrawi, “ *Concrete strength by combined nondestructive methods simply and reliably predicted*“, Cement and Concrete Research, Vol.30, 2000, pp.739-746.
- [8] B.Hobbs, M.T.Kebir, “*NDT techniques for the forensic engineering investigation of reinforced concrete buildings*“, Forensic Science International, Vol.167, 2007. pp.167-172.
- [9] CONTROLS, “*Instruction manual* “, Concrete Hammer, Mod. 58-C0181/N, 2000.
- [10] G. Dreux, J. Festa, “*Nouveau guide du béton et de ses constituants*“, Edition Eyrolles, 2002.
- [11] D. Breysse, M. Soutsos, R. Felicetti, M. Krause, J. Lataste, A. Moczko, “*How to improve the quality of concrete assessment by combining several NDT measurements* “, Non-Destructive Testing in Civil Engineering, France, 2009, 8p.
- [12] A. Samarin, “*Combined Methods*“, Handbook on Nondestructive Testing of Concrete, CRC Press LLC, 2004, 12p.
- [13] S. Kenai, R. Bahar, “*Evaluation and repair of Algiers new airport building*“, Cement & Concrete Composites, vol.25, 2003, pp.633-641.



# RESPONSABILITÉ & ENVIRONNEMENT

recherches débats actions

## SOMMAIRE

### CONSOMMATION ET ENVIRONNEMENT : L'INFORMATION DES CONSOMMATEURS SUR L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES PRODUITS

Éditorial – *Pierre COUVEINHES*

Avant-Propos : L'information environnementale des consommateurs –  
*Nathalie HOMOBONO et Aurélien HAUSER*

#### A – Le contexte

L'évolution des attentes des consommateurs en matière de produits respectueux de l'environnement – *Yvon MERLIÈRE*

Affichage environnemental : quand le *marketing* s'habille de vert... –  
*Alain BAZOT*

L'affichage environnemental des produits de consommation courante :  
les conditions de la réussite – *Blandine BARREAU*  
et *François VIELLIARD*

#### B – Initiatives communes et expérimentations

Conseil national de la Consommation (CNC) : les initiatives communes  
aux professionnels et aux associations de consommateurs –  
*Loïc ARMAND et Franck AVIGNON*

L'expérimentation de l'affichage environnemental en France : contexte  
et résultats – *Jean-Paul ALBERTINI*

L'information des consommateurs sur l'impact environnemental des pro-  
duits : Le cas des industries agroalimentaires – *Nathalie BÉRIOT*  
et *Laura FARRANT*

L'affichage environnemental des produits électriques et électroniques  
– *Gérard SALOMMEZ*

#### C – Méthodologies et perspectives d'avenir

Un socle technique pour l'affichage environnemental des produits de  
grande consommation – *Virginie SCHWARZ et Lydie OUGIER*

Les actions de l'Union européenne en faveur de la promotion de pro-  
duits de consommation « plus verts » et l'adoption d'une communica-  
tion adéquate les concernant – *Marie-Paule BENASSI*

Guide pratique des allégations environnementales

#### Hors Dossier

Colloque Environnement & Industrie (Paris, Maison de la Chimie, 12 octobre 2013). *Compte rendu du colloque rédigé par Nicolas CLAUSSET, Bogdan POPESCU et Simon LIU*

Ce dossier est coordonné par *Nathalie HOMOBONO*

## RESPONSABILITÉ & ENVIRONNEMENT

recherches débats actions

### L'affichage environnemental

Hors dossier :  
Colloque Environnement  
& Industrie (Paris, Maison  
de la Chimie,  
12 octobre 2013)



SÉRIE TRIMESTRIELLE DES  
**ANNALES  
DES  
MINES**  
FONDÉES EN 1794

Publiées avec le soutien  
du ministère de l'Économie  
et des Finances



JANVIER 2014  
NUMÉRO 73  
PRÉX : 30 €  
ISSN 1268-4783



JANVIER 2014  
ISSN 1268-4783  
ISBN 978-2-7472-2222-8

## BULLETIN DE COMMANDE

A retourner aux Éditions ESKA, 12, rue du Quatre-Septembre, 75002 PARIS

Tél. : 01 42 86 55 65 - Fax : 01 42 60 45 35 - <http://www.eska.fr>

☐ Je désire recevoir ..... exemplaire(s) du numéro de **Responsabilité & Environnement Janvier 2014 - numéro 73**  
(ISBN 978-2-7472-2222-8) au prix unitaire de 30 € TTC + 3,50 € de frais d'envoi.

Je joins ☐ un chèque bancaire à l'ordre des Éditions ESKA

☐ un virement postal aux Éditions ESKA CCP PARIS 1667-494-Z

Nom ..... Prénom .....

Adresse .....

Code postal ..... Ville .....