

# ELECTRONIQUE PRATIQUE

HORS-SÉRIE N°3 ■ [www.electroniquepratique.com](http://www.electroniquepratique.com) ■ 5,00 €

## HORS-SÉRIE AUDIO

À RÉALISER VOUS-MÊME

**Bloc mono**  
**200 Weff**  
**4 x KT90**

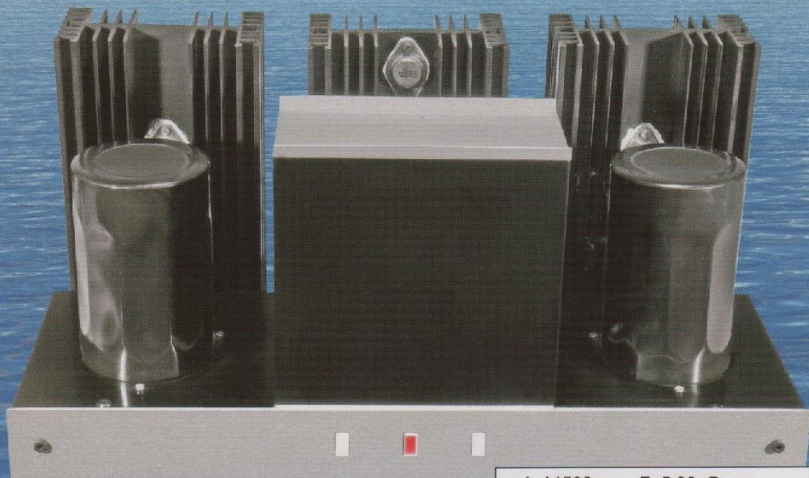


**INITIATION**

**Puissance & niveau sonore**

**Classe A 2 x 50 Weff**

**Enceinte**  
**Coaxiale**  
**2 voies**



L 14562 - 3H-F: 5,00 € - RD







### Applications Internet / Ethernet

- 1 Ajoutez en 3 mn une connexion Internet à votre ordinateur ! Convertisseur RS232 <=> TCP/IP  
**EZL-200L ..... 68 €** Dont 0,01 € d'éco-participation inclus
- 2 Version carte "OEM" seule **EZL-50L ..... 26 €**
- 3 Pilotez 8 entrées optocoupleuses + 8 sorties relais + port RS232 via Internet/Ethernet. Supporte les modes Web server (HTTP) et Modbus TCP  
**CIE-H10 ..... 179 €** Dont 0,05 € d'éco-participation inclus
- 4 Serveur Web sur base PIC **PICWEB 49 €**



### Acquisition / Mesure / Débug

- 1 Interface USB avec 16 ports configurables en entrées ou sorties ou conversion "AIN" 12 bits + 4 ports entrées/sorties + 2 sorties analogiques - Livrée avec de très nombreux drivers et DLL  
**US-LV ..... 119 €** Dont 0,05 € d'éco-participation inclus
- 2 Analyseur USB non intrusif Full / Low Speed idéal pour debug, mise au point de drivers, optimisation des équipements USB  
**TP320221 ..... 419 €** Dont 0,01 € d'éco-participation inclus



### Oscilloscopes numériques

- 1 Sonde oscilloscope USB 1 voie (1 G Ech/sec, 10 bits mode répétitif) - Mémos, modes "x" et "y" - mini-analyseur de spectre (FFT) - mode voltètre + mode compteur de fréquence !  
**PS40M10 ..... 290 €** Dont 0,05 € d'éco-participation inclus
- 2 Oscilloscope 2 voies (20 M Ech/sec, 12 bits mode répétitif) - Mémos, modes "x" et "y" - mini-analyseur de spectre (FFT) - mode voltètre + mode compteur de fréquence !  
**DS1M12 ..... 419 €** Dont 0,05 € d'éco-participation inclus
- 3 Oscilloscope portable 2 x 20 MHz à écran couleur + mode multimètre. Livré en malette avec chargeur, sondes et cordons de mesure. Sortie USB pour exportation des mesures sur PC  
**HDS1022M ..... 695 €** Dont 0,05 € d'éco-participation inclus
- 4 Oscilloscope 2 x 25 MHz à écran couleur avec sortie USB pour exportation des mesures sur PC  
**EDUS022 ..... 437 €** Dont 0,15 € d'éco-participation inclus



### Programmateurs de composants

- 1 ZIF 32 broches pour EPROM, EEPROM, FLASH EPROM, NVRAM, EEPROM série - Raccordeur LTP - Supporte 8788 composants  
**60-0039 ..... 199 €** Dont 0,03 € d'éco-participation inclus
- 2 ZIF 40 broches + mode ISP pour mémoires, microcontrôleurs, PLD... - Raccordeur USB - Supporte 19457 composants - Garantie 3 ans  
**60-0036 ..... 509 €** Dont 0,08 € d'éco-participation inclus
- 3 ZIF 48 broches + mode ISP pour mémoires, microcontrôleurs, PLD... - Raccord, USB / LTP - Supporte 37723 composants - Garantie 3 ans  
**60-0044 ..... 1027 €** Dont 0,15 € d'éco-participation inclus
- 4 Modèle 4 supports ZIF 48 broches indépendantes - mode ISP pour mémoires, microcontrôleurs, PLD... - Raccordeur USB - Supporte 37562 composants - Garantie 3 ans  
**60-0049 ..... 3217 €** Dont 0,25 € d'éco-participation inclus
- 5 Modèle ISP pour PIC - Raccordeur USB  
**PICFIC ..... 96 €** Dont 0,01 € d'éco-participation inclus



### Logiciel de C.A.O

- 1 Splan Logiciel de saisie de schémas **42,22 €**
- 2 Loch Master Aide au prototype **43,00 €**
- 3 Sprint layout Logiciel de réalisation de circuits imprimés **47,72 €**
- 4 ProfilLab-Expert Générateur d'application simulateur graphique **121,99 €**



### Module vidéo intelligent "CMUcam3"

Développé par l'université de Carnegie Mellon et fabriqué sous licence par Lextronic, la **CMUcam3** est une plate forme de développement vidéo conçue autour d'un processeur ARM™ et d'un module caméra couleur. Entièrement programmable en langage "C" via une suite logiciel GNU, elle pourra être exploitée soit comme un capteur vidéo intelligent prêt à l'emploi (interface via une liaison série avec n'importe quel microcontrôleur), soit comme une base d'étude qui vous permettra de concevoir vos propres algorithmes de traitements et d'analyses vidéos grâce à une bibliothèque d'exemples et de librairies. Les différents firmwares et descriptions d'applications permettent de pouvoir effectuer un suivi en temps réel d'un objet coloré, de récupérer l'image vue par la caméra via la liaison série, d'obtenir un histogramme et des statistiques sur l'image captée, d'enregistrer des images sur une carte SD\* optionnelle en cas de détection de mouvement, de consulter des exemples de reconnaissances expérimentales de visages et d'environnement pour le déplacement de robots mobiles... La "CMUcam3" peut également piloter directement 4 servomoteurs (non livrés) ..... **150 €**



### Afficheurs OLED / LCD "Intelligents"

Ces afficheurs graphiques couleur OLED ou LCD (résolution de 96 x 64 à 240 x 320 pixels) peuvent être pilotés par tout microcontrôleur via une liaison série en permettant de sélectionner la couleur du fond, de redéfinir des caractères, de dessiner des lignes, des cercles, des ellipses, des triangles, des rectangles, de modifier la fonte des caractères... Certains modèles disposent d'un connecteur capable de recevoir une carte micro SD\* (non livrée) afin de pouvoir stocker des images pour les rappeler à l'écran via votre microcontrôleur ou en mode automatique (sans microcontrôleur externe). A partir de **68 €** pièce.



### Spécial radiofréquence

- 1 Module radio **ZigBee®** permettant une liaison série entre 2 micro-contrôleurs (2 modules sont nécessaires) - Dim.: 28,6 x 10,5 mm - Aliment.: 3,3 V Prix unitaire **22,13 €**
- 2 Module **F2M03GLA** Module **Bluetooth®** permettant une liaison série transparente avec périphérique Bluetooth® au protocole SPP - Dim.: 28,6 x 15,2 mm - Aliment.: 3,3 V Prix unitaire **32,72 €**
- 3 **BDL2A** Module radio **synthétisé 5 canaux bande 433 MHz** permettant une liaison série transparente entre 2 microcontrôleurs (2 modules nécessaires) Prix unitaire **40,66 €**
- 4 **SET150** Ensemble de 2 **télécommandes** porte-clés 433,92 MHz type monocanal à code anti-scanner + 1 **récepteur** à sortie relais (mode M/A ou temporel) - Portée: 30 m 49,00 €
- 5 **GM862-QUAD** Module **GSM/GPRS** Quad Band - Compatible protocole voix, fax, SMS - Pilotage très simple via commandes AT séries - Prévoir antenne sur ..... **104,05 €**
- 6 **ET-312** Module **GPS** 20 canaux - Dimensions: 27,9 x 20,2 mm - SIFF III™ - Aliment.: 3,3 V - Prévoir antenne externe - Prix unitaire **70,56 €** Prix unitaire (par 5 pcs) **58,60 €**
- 7 **EM-406** Module **GPS** 20 canaux avec antenne intégrée - Dimensions: 30 x 30 x 10,5 mm - SIFF III™ - Aliment.: 5 V - Prix unitaire **75,00 €** Prix unitaire (par 5 pcs) **64,58 €**
- 8 **UM005** Module de lecture/décodeur TAG **RFID 125 KHz Unique®** - Sortie série **25,00 €**
- 9 **RFID-CARD1** Carte **RFID Unique** **2,00 €** Prix unitaire (par 20 pcs) **1,32 €**
- 10 **AJ224** Module émetteur vidéo 2,4 GHz 4 canaux - Dim.: 31 x 29 x 4 mm ..... **12,95 €**
- 11 **AJ224R** Module récepteur vidéo 2,4 GHz 4 canaux - Dim.: 41 x 32 x 5 mm ..... **19,95 €**

### Spécial Capteurs

- 1 **MSBD** Capteur de mouvement **infrarouge passif** à sortie logique - Portée 3 m ..... **17,00 €**
- 2 **DPD210** Module **Infrarouge** de mesure de distance (4 à 30 cm) - Sortie analogique **19,95 €**
- 3 **MS-EZ1** Module **ultrason** de mesure de distance (type mono cellule US) - Portée 16 cm à 6 m - Sortie analogique, sortie PWM ou sortie numérique via une liaison série ..... **24,49 €**
- 4 **MDU1130** Module **hyperfréquence** 9,9 GHz pour mesure de distance ..... **35,88 €**
- 5 **CM03** Module **boussole** numérique (orientation 0 à 359°) - Sortie PWM / I2C™ ..... **45,50 €**
- 6 **IBR273** Module capteur de pluie à **variation capacitive** + résistance anti-rosée ..... **5,45 €**
- 7 **QT110** Circuit capacitif transformant tout objet métallique en **capteur sensible** ..... **8,85 €**
- 8 **FSR2** Capteur de **force** (zone de détection circulaire) - Diamètre: 15 mm ..... **8,19 €**
- 9 **LP-TRCELL** Module **accéléromètre 3 axes** - Sorties analogiques ..... **29,00 €**
- 10 **PL-MLX300** Module **gyroscope 1 axe** - Sorties analogiques / SPI™ ..... **52,99 €**
- 11 **MGDYR2** Module **gyroscope 2 axes** - Sorties analogiques ..... **79,00 €**
- 12 **INER5** Module **accéléromètre 3 axes + gyroscope 2 axes** - Sorties analogiques ..... **109,00 €**
- 13 **SHT15** Capteur **humidité + température** - Sorties numériques ..... **32,08 €**
- 14 **PLSCP1000** Module **baromètre + température** - Sortie SPI™ ..... **52,00 €**

### Développement sur PIC™ / PICBASIC / CUBLOC

- 1 **EasyPIC5** Starter-kit pour développement sur microcontrôleurs **PIC™** - Programmeur USB intégré, supports pour PIC 8, 14, 20, 28 et 40 broches, livré avec PIC16F877, emplacements pour afficheurs LCD 2 x 16 et afficheur LCD graphique 128 x 64 (livrés en option), 32 leds, 32 boutons-poussoirs, 4 afficheurs 7 segments, emplacement capteur DS18S20 (livré en option), port série, connecteur PS/2, etc. .... **129,50 €**
- 2 Vos connaissances en microcontrôleurs sont limitées (ou nulles) ? Vous avez un budget "serré" et vous voulez développer des applications capables de piloter des afficheurs LCD ou 7 segments, des communications série, I2C™, SPI™, des signaux PWM, mesurer des valeurs analogiques, piloter des servomoteurs, des moteurs pas-à-pas, des moteurs "cc".... Alors comme des milliers d'utilisateurs, découvrez les **PICBASIC** ! Ces microcontrôleurs se programment en langage BASIC (disponible en libre téléchargement) via un PC grâce à un logiciel qui transférera vos instructions dans sa mémoire par un câble raccorder au PC. Une fois "flashé", ce dernier pourra être déconnecté de l'ordinateur pour être totalement autonome. Documentation entièrement en Français. Très nombreuses applications, ouvrage technique de formation. Module **PICBASIC** à partir de ..... **28 €**

- Option afficheur LCD 2 x 16 caractères ..... **9 €**
- Option afficheur LCD graphique 128 x 64 ..... **28 €**
- Option capteur température DS18S20 ..... **3,90 €**

- 2 **Compteurs pour PIC** interface IDE, gestion port série, USB, I2C™, SPI™, RS485, CAN, Ethernet, écriture/lecture sur cartes SD/MMC/CF™, afficheur LCD alphanumérique/graphique, gestion de driver, modules radio, calculs mathématiques, signaux PWM, mémoire Flash/EEPROM interne, temporisations... Exécute aussi en Pascal  
Mikro-BASIC: **150 €** MikroC™: **215 €**  
Tarifs valables si achetés avec platine EasyPIC2  
Mikro-BASIC: **115 €** MikroC™: **165 €**
- 3 **Ouvrage technique** Aborde tous les aspects, théoriques et pratiques de la programmation en BASIC des microcontrôleurs PIC™ ..... **39 €**
- 4 **CB220** - compatible broches à broches avec module **B52** (5 K RAM - 4 K EEPROM - 16 E/S) ..... **47 €**
- 5 **CB280** (8 K RAM - 4 K EEPROM - 48 E/S) ..... **55 €**
- 6 **CB290** (28 K RAM - 4 K EEPROM - 92 E/S - RTC) ..... **87 €**
- 7 **CB405** (200 K de mémoire programme Flash + 110 K RAM + 4 K EEPROM + 64 E/S + 4 port séries) ..... **69 €**

### La sélection du mois

Le cordon "Smart488" est une interface "USB <=> GPIB" très fiable, performante et économique, spécialement conçue pour le pilotage de tout équipement compatible **GPIB** ou simplement pour des rapprochements entre ordinateurs via un logiciel d'émulation de traceur open source. Installation Plug'n play - Mode transparent permettant le dialogue immédiat avec un équipement GPIB unique - Mode adressable permettant l'accès sélectif à un équipement donné sur un bus (jusqu'à 3 équipements) - Fonction GPIB controller, etc.... Le cordon seul ..... **178,20 €**



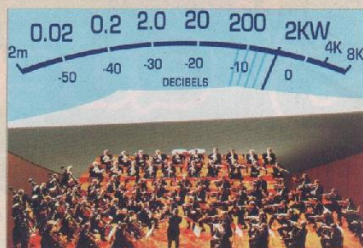
# ELECTRONIQUE PRATIQUE

HORS-SÉRIE N°3

## Initiation

### 5 Puissance & Niveau sonore

Connaître les lois physiques qui régissent les rapports entre la puissance électrique fournie par l'amplificateur, le niveau sonore généré par les enceintes et la pression acoustique ressentie par l'auditeur permet de déterminer les possibilités réelles d'un système de restitution sonore en termes de niveau et de dynamique.



## A réaliser vous-même

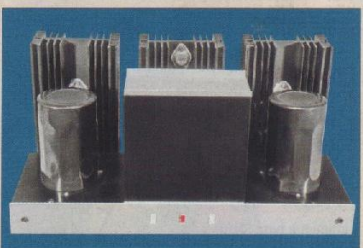
### 12 Push-Pull de 2 x 30 Weff Classe A à transistors bipolaires

Le fonctionnement de cet amplificateur bien que se faisant en classe A est totalement différent de l'étude que vous trouverez en page 40 puisqu'en étage de sortie nous avons ici deux transistors bipolaires montés en push-pull.



### 23 Double Push-Pull de KT90 Bloc monophonique de 200 Weff

Cet amplificateur atteint sans s'essouffler les 280 Weff. Il met en œuvre un quartet de KT90 en classe B. Sa bande passante s'étend de 20 Hz à 30 kHz à la puissance nominale.



### 40 Single End de 2 x 50 Weff Classe A à transistor bipolaire et ampli OP

Nous abordons ici l'étude et la réalisation d'un amplificateur capable de fournir 2 x 52 Weff sur charges de 8  $\Omega$ . Cet appareil fonctionne en pure classe A, mais en Single end.



### 54 La Coaxiale - Une enceinte 2 voies

Compte tenu de sa taille et de ses performances, cette minuscule enceinte de moins de cinq litres trouvera aisément sa place dans votre intérieur, d'autant qu'elle répond à deux critères de taille : rigueur de conception et excellent rapport qualité-prix.

Fondateur : Jean-Pierre Ventillard - TRANSOCEANIC SAS au capital de 574 000 € -

3, boulevard Ney, 75018 Paris Tél. : 01 44 65 80 80 - Fax : 01 44 65 80 90 - Internet : <http://www.electroniquepratique.com>

Président : Patrick Vercher - Directeur de la publication et de la rédaction : Patrick Vercher - Secrétaire de rédaction : Elsa Sepulveda

Photos : Isabelle Garrigou - Avec la participation de : B. Duval, J-C Gaertner, G. Kossmann, J. Vallienne, J-L Vandersleyen

La Rédaction d'Electronique Pratique décline toute responsabilité quant aux opinions formulées dans les articles, celles-ci n'engageant que leurs auteurs.

**DIFFUSION/VENTES** : ALIX CONSEIL PRESSE Tél. : 01 64 66 16 39 - **PUBLICITÉ** : À la revue, e-mail : [pubep@fr.oleane.com](mailto:pubep@fr.oleane.com)

**I.S.S.N.** 0243 4911 - **N° Commission paritaire** : 0909 T 85322 - **Distribution** : MLP - **Imprimé en France/Printed in France**

**Imprimerie** : MAULDE & RENOUD AISNE 02430 GAUCHY - **DEPOT LEGAL** : JUIN 2008 - Copyright © 2008 - TRANSOCEANIC

**ABONNEMENTS** : 18-24, quai de la Marne - 75164 Paris Cedex 19 - Tél. : 01 44 84 85 16 - Fax : 01 42 00 56 92. - Préciser sur l'enveloppe « Service Abonnements »

**ATTENTION !** Si vous êtes déjà abonné, vous faciliterez notre tâche en joignant à votre règlement soit l'une de vos dernières bandes-adresses, soit le relevé des indications qui y figurent.

**Abonnements USA - Canada** : Contacter Express Mag - [www.expressmag.com](http://www.expressmag.com) - [expsmag@expressmag.com](mailto:expsmag@expressmag.com) - Tarif abonnement USA-Canada : 60 €

**TARIFS AU NUMÉRO** : France Métropolitaine : 5,00 € • DOM Avion : 6,40 € • DOM Surface : 5,80 € • TOM : 800 XPF • Portugal continent : 5,80 €

Belgique : 5,50 € • Espagne : 5,60 € • Grèce 5,80 € • Suisse : 10,00 CHF • Maroc : 60 MAD • Tunisie : 5200 TND • Canada : 6,60 \$ CAN

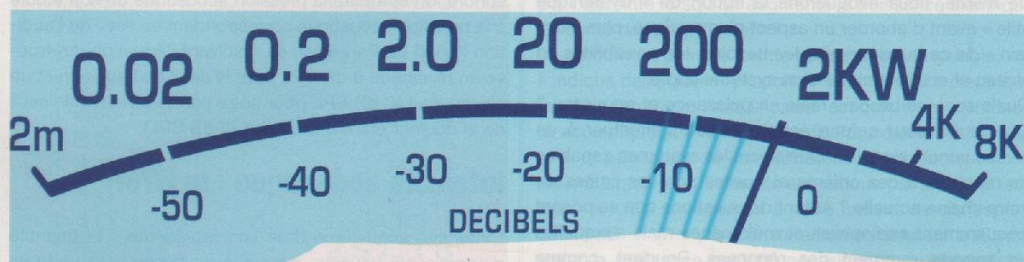
© La reproduction et l'utilisation même partielle de tout article (communications techniques ou documentation) extrait de la revue *Electronique Pratique* sont rigoureusement interdites, ainsi que tout procédé de reproduction mécanique, graphique, chimique, optique, photographique, cinématographique ou électronique, photostat tirage, photographie, microfilm, etc. Toute demande d'autorisation pour reproduction, quel que soit le procédé, doit être adressée à la société TRANSOCEANIC.







# Puissance & Niveau sonore



Dans un système de restitution sonore, on peut aisément concevoir d'instinct qu'il existe une relation directe entre la puissance fournie par l'amplificateur et le niveau sonore émis par les enceintes acoustiques.

De même, on comprend sans difficulté que le fait de s'éloigner des enceintes se traduit inmanquablement par une sensation de diminution du niveau sonore pour nos oreilles. En effet, il existe des lois purement physiques qui régissent les rapports entre la puissance électrique fournie par l'amplificateur, le niveau sonore généré par les enceintes et la pression acoustique ressentie par l'auditeur en fonction de la distance qui le sépare de ses enceintes.

La connaissance de ces lois est un outil très précieux qui permet de déterminer, en fonction de certaines caractéristiques techniques, les possibilités réelles d'un système de restitution sonore en termes de niveau sonore et de dynamique.



**T**out ceci peut s'avérer très utile, lorsqu'on veut acquérir du matériel, pour éviter les associations risquées ou désastreuses entre un amplificateur et des enceintes acoustiques.

Le but de cet article est donc de vous dévoiler quelques bases essentielles de l'électro-acoustique afin de vous aider à comprendre ce qui fait la différence entre le bas rendement, le haut rendement et à quoi peuvent bien servir les électroniques survitaminées capables de fournir plusieurs centaines de watts.

De même, nous évoquerons la notion de « dynamique utile » avant d'aborder un aspect plus pratique, plus « terrain » de ce qui détermine les besoins, les possibilités en niveau et en dynamique d'un système audio.

Quels sont les besoins réels en puissance et en niveau ? Que faut-il pour qu'une écoute puisse s'effectuer à un niveau sonore réaliste ? Quels sont les systèmes capables de répondre à ces critères et quelles sont les limites de votre chaîne actuelle ? Autant de questions que se posent fréquemment audiophiles et mélomanes mais auxquelles on apporte rarement des réponses. Pourtant, comme vous pourrez le constater tout au long de cet article, les notions de dynamique, de puissance et de niveau acoustique sont liées à des grandeurs élémentaires de la physique qui n'ont absolument rien à voir avec la magie ou « l'ésotérisme »...

## Niveau sonore et décibels

La notion de « niveau sonore » se rapporte à l'intensité, le volume ou encore la puissance acoustique d'un son.

Un son est une variation de pression de l'air qui se propage à une vitesse déterminée (« vitesse du son » dans l'air qui est d'environ 340 m/s). Cette pression s'exerce sur tout corps (ou objet) qui se trouve sur le trajet du son. L'unité « officielle » adoptée par le système international pour exprimer une pression est le Pascal (noté Pa, avec  $1 \text{ Pa} = 10 \text{ } \mu\text{bar}$ ). Une pression de 1 Pa correspond à une force de 1 Newton appliquée sur une surface de 1 mètre-carré ( $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ ).

L'oreille humaine n'est pas capable de percevoir les sons de trop faible amplitude. Elle possède sa sensibilité propre : le seuil d'audibilité pour une pression sonore étant de 0,000 02 Pa. Cela signifie qu'un son de pression inférieure à ce seuil ne peut pas être perçu par l'oreille humaine. A l'autre bout de « l'échelle », une pression de 200 Pa correspond à un son très violent, supérieur au seuil de la douleur (figure 1).

Pour mesurer ou évaluer un niveau sonore, on utilise une grandeur appelée décibel, notée « dB » ou plus précisément « dB SPL » pour indiquer qu'il s'agit de dB « acoustiques » (« SPL » signifiant *Sound Pressure Level* ou « Niveau de pression sonore » en français).

Sans entrer dans un développement mathématique complexe, nous rappelons, ci-dessous, l'équation qui relie les « dB SPL » et la pression d'un son en Pascal.

Pour un son de pression acoustique égale à « P » Pascal, le niveau sonore N exprimé en dB SPL est :

$$N \text{ (dB SPL)} = 20 \text{ Log (P/0,000 02)}$$

où « 0,000 02 » est la pression correspondant au seuil d'audibilité et « Log » la fonction Logarithme en base 10. Nous nous sommes permis de vous « parachuter » cette équation, car le but de cet article n'est pas de vous « faire » un cours de mathématiques sur les logarithmes, encore moins un exposé sur les lois de la psycho-acoustique (en expliquant que l'oreille humaine ne fonctionne pas de façon linéaire, mais logarithmique, devant les variations de pression acoustique).

Au final, on peut retenir que pour exprimer un niveau sonore, on compare la pression acoustique du son étudié à la pression acoustique correspondant au seuil de l'audition (0,000 02 Pa). Ainsi, en résolvant l'équation, on trouve un niveau de 0 dB SPL pour le seuil de l'audition et un niveau de 140 dB SPL pour notre son très violent (le seuil de la douleur étant d'environ 130 dB SPL).

## Intensité acoustique : le $\text{W/m}^2$

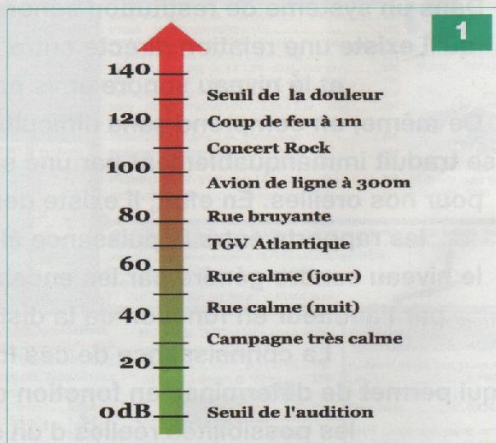
L'intensité acoustique d'un son représente « la quantité d'énergie qui traverse, par unité de temps, une unité de surface parallèle au front d'onde ». Cette intensité est une « densité surfacique de puissance » exprimée en  $\text{W/m}^2$ .

Il existe, bien sûr, un rapport entre cette intensité acoustique et la pression acoustique exprimée en dB SPL.

A l'examen du **tableau A**, on constate au moins deux choses intéressantes :

- Multiplier l'intensité acoustique par 100 revient à accroître le niveau de 20 dB.
- Un « tout petit »  $\text{W/m}^2$  correspond à un niveau colossal de 120 dB.

Exprimer une intensité acoustique en  $\text{W/m}^2$  est très pratique pour calculer le rendement d'un haut-parleur. Ce rendement exprime le rapport entre l'intensité acoustique rayonnée et la puissance électrique appliquée aux bornes du haut-parleur. Par exemple, un haut-parleur d'une sensibilité de 100 dB/1W (ce qui est très élevé) a un rendement de 1 % seulement... En effet, il produit une intensité acoustique de 0,01  $\text{W/m}^2$  pour une puissance de 1 W



Niveaux en dB de quelques bruits « connus »



dB	→	W/m <sup>2</sup>
80		0,0001
84		0,0002
88		0,0006
92		0,0015
96		0,0039
100		0,0100
104		0,0251
108		0,0630
112		0,1584
116		0,3981
120		1
124		2,5118
128		6,3095
132		15,848
136		39,810
140		100
144		251,18
148		630,95
152		1584,8
156		3981,0
160		10000

**TABEAU A** - Correspondance entre les niveaux en dB SPL et les intensités acoustiques en W/m<sup>2</sup>

appliquée à son bornier (un rendement de 100 % correspondrait à une sensibilité de 120 dB/1W/1m).

A ce propos, nous constatons très souvent que, par abus de langage, de nombreuses personnes confondent le rendement et la sensibilité (ou niveau d'efficacité) d'un haut-parleur (**tableau B**). Pour « remettre les pendules à l'heure », nous rappelons qu'un rendement s'exprime en « % » et que les « dB/1W/1m » correspondent à une sensibilité (ou niveau d'efficacité). Rendement et sensibilité sont intimement liés, certes, mais rendons « à chacun » sa bonne unité de mesure et nous éviterons bien des confusions...

## Niveau acoustique et puissance...

La sensibilité (ou efficacité) d'un haut-parleur ou d'une enceinte représente le niveau acoustique relevé, en dB SPL, à une distance de 1 mètre lorsque ce haut-parleur ou cette enceinte est attaqué(e) par un signal électrique de 1 watt.

A ce sujet, il est intéressant de rappeler ce que représente cette puissance de 1 W. Un amplificateur fournit une tension (en V) et un courant (en A). D'après la loi d'Ohm ( $P = U^2/R$ ), si l'amplificateur est relié à une charge résistive pure de 4 Ω, il doit délivrer une tension de 2 V. Cette tension passe à 2,83 V pour une charge de 8 Ω. Bien que l'impédance d'une enceinte soit théoriquement normalisée à 4 ou 8 Ω, certains systèmes sont « annoncés » pour 6 Ω par les constructeurs. De plus, il n'est pas rare de constater, sur certaines enceintes de 8 Ω, que l'impédance peut très bien chuter à 4 Ω à certaines fréquences.

Ainsi, pour comparer la sensibilité de plusieurs enceintes, il est intéressant de relever le niveau acoustique à 1 m, en ajustant la sortie de l'amplificateur sur 2 V ou 2,83 V, quelle que soit l'impédance annoncée par le constructeur (mesure que nous effectuons pour nos tests).

Revenons dans le vif du sujet, en considérant que nous vivons dans un monde « électro-acoustiquement parfait » où une puissance de 1 W injectée à une enceinte représente une valeur « sûre ». A partir d'un niveau de sensibilité donné, comment évolue le niveau acoustique fourni par l'enceinte lorsqu'on augmente la puissance électrique en sortie de l'amplificateur ?

Le rendement d'une enceinte est constant, invariable.

Il indique dans quelles proportions la puissance électrique (en W) délivrée par l'amplificateur est convertie en intensité acoustique (les fameux W/m<sup>2</sup>). Par conséquent, multiplier la puissance de l'amplificateur par un facteur « x » revient à multiplier l'intensité acoustique par le même facteur « x ». En se reportant à notre tableau de correspondance dB → W/m<sup>2</sup>, on constate immédiatement que multiplier la puissance par 100 occasionne une progression en niveau de 20 dB. Cette progression est logarithmique. Soit « x » le facteur de multiplication appliqué à la puissance, soit « n » la progression du niveau en dB, on a :

$$n = 10 \text{ Log } (x) \text{ ou } n = 10 \text{ Log } (P/P_0)$$

P étant la puissance délivrée « au final » et P<sub>0</sub> la puissance de départ.

Sensibilité (dB/1W/1m)	→	Rendement (%)
80		0,01
82		0,016
84		0,025
86		0,04
88		0,063
90		0,1
92		0,158
94		0,251
96		0,398
98		0,631
100		1
102		1,585
104		2,512
106		3,981
108		6,31
110		10
112		15,849
114		25,119
116		39,811
118		63,096
120		100

**TABEAU B** - Equivalence entre la sensibilité (ou le niveau d'efficacité) d'une enceinte exprimée en dB/1W/1m et son rendement exprimé en %. Les deux grandeurs sont intimement liées, mais il ne faut pas les confondre...



Avec différentes valeurs pour P et P0, cette équation indique que le niveau augmente de 3 dB quand on double la puissance, il augmente de 6 dB quand on quadruple la puissance... il augmente de 10 dB quand on multiplie la puissance par 10, etc. (**tableau C**). Par conséquent, on augmente le niveau de 3 dB (par exemple) lorsqu'on passe d'une puissance de 10 W à 20 W ( $P \times 2$ ), mais aussi lorsqu'on passe d'une puissance de 100 W à une puissance de 200 W. Dans un cas comme dans l'autre, la puissance est doublée.

## Sensibilité d'une enceinte et puissance

La sensibilité d'une enceinte acoustique est donnée pour une puissance de 1 W à la distance de 1 m (dB/1W/1m). Le niveau sonore disponible augmente en relation avec la puissance injectée à l'enceinte. La **figure 2** représente la correspondance entre la puissance injectée à une enceinte et le niveau disponible, en fonction de sa sensibilité. Nous avons retenu deux exemples : une enceinte de bas rendement avec une sensibilité de 84 dB/1W/1m et une enceinte de haut rendement avec une sensibilité de 96 dB/1W/1m.

Multiplication de la puissance par :	Augmentation du niveau en dB
1,3	1
1,6	2
2	3
2,5	4
3,2	5
4	6
5	7
6,3	8
7,9	9
P x 10	+ 10 dB
12,6	11
15,8	12
20	13
25,1	14
31,6	15
39,8	16
50,1	17
63,1	18
79,4	19
100	20

**TABLEAU C** - Correspondance entre le facteur multiplicateur de puissance et l'augmentation de niveau en dB. La correspondance fonctionne aussi en « inverse » pour une puissance qui diminue et crée une chute de niveau : une puissance divisée par 2 occasionne une « perte » de 3 dB, une puissance divisée par 10 occasionne une perte de 10 dB, etc. Il suffit de remplacer la multiplication par une division de la puissance et de remplacer le « + » dB par un « - » dB pour le niveau.

## Niveau acoustique et distance

Plus on s'éloigne d'une source d'émission sonore, plus le niveau chute, plus on s'en approche, plus le niveau augmente (**tableau D**). En théorie, le niveau acoustique délivré par une source ponctuelle diminue de 6 dB chaque fois que l'on multiplie la distance par deux.

Si l'on mesure 90 dB à un mètre, on relève un niveau de  $90 - 6 = 84$  dB à deux mètres ( $n = 20 \text{ Log } (D1/D2)$  où « n »

2	Watts	dB	Watts
	1	84	0,06
	1,3	85	0,08
	1,6	86	0,1
	2	87	0,13
	2,5	88	0,16
	3,2	89	0,2
	4	90	0,25
	5	91	0,3
	6,3	92	0,4
	7,9	93	0,5
	10	94	0,6
	13	95	0,8
	16	96	1
	20	97	1,3
	25	98	1,6
	32	99	2
	40	100	2,5
	50	101	3
	63	102	4
	79	103	5
	100	104	6
	126	105	8
	158	106	10
	200	107	13
	251	108	16
	316	109	20
	398	110	25
	501	111	31
	631	112	39
	794	113	50
	1000	114	63

**Niveau acoustique disponible pour deux enceintes en fonction de la puissance.** A gauche : système de bas rendement avec une sensibilité de 84 dB/1W/1m. A droite : système à haut rendement avec une sensibilité de 96 dB/1W/1m. L'écart entre les deux sensibilités est de 12 dB. Pour obtenir le même niveau acoustique avec les deux enceintes, il faut injecter une puissance seize fois supérieure à l'enceinte de bas rendement, par rapport au système à haut rendement. Pour obtenir un niveau de 114 dB SPL, par exemple, il faut injecter une puissance de 63 W au système à haut rendement et 1 000 W à l'autre enceinte (impossibilité technique dans la très grande majorité des cas...).



Distance à la source	→	Atténuation ou gain en dB
50 cm		+ 6 dB
75 cm		+ 3 dB
1 m	(référence)	0 dB
2 m		- 6 dB
3 m		- 9,5 dB
4 m		- 12 dB
5 m		- 14 dB
6 m		-15,6 dB
7 m		- 17 dB
8 m		- 18 dB
9 m		- 19 dB
10 m		- 20 dB

**TABLEAU D** - Variations théoriques du niveau sonore (dB SPL) en fonction de la distance par rapport à la source (référence à 1 m).

représente la chute ou l'augmentation du niveau en dB SPL, « D2 » la distance finale par rapport à la source et « D1 » la distance initiale. Il s'agit d'une règle théorique, car les enceintes ne sont pas de vraies sources ponctuelles. De plus, dans une salle « normale », les sons réverbérés s'ajoutent au son direct et l'atténuation en niveau est moins importante qu'en théorie (pratiquement, on peut compter sur une moyenne d'environ 4 à 5 dB d'atténuation lorsqu'on double la distance).

Enfin, et ceci n'est pas négligeable, il ne faut pas oublier qu'avec deux canaux en service, nous écoutons deux enceintes qui diffusent chacune un son de même intensité. La théorie d'addition des sources sonores nous rappelle que les intensités acoustiques des deux sources s'additionnent. Dans notre cas, on se retrouve alors avec une intensité sonore doublée, ce qui représente un gain de 3 dB SPL.

Avec deux enceintes dont l'efficacité est de 90 dB/1W/1m, on obtient une sensibilité globale théorique s'élevant à 93 dB/1W/1m.

## Ecart en niveau et puissance

Il est primordial, tout d'abord, de comprendre ce qui relie les variations de la puissance électrique (en W) à la sortie de l'amplificateur et les variations du niveau acoustique (en dB SPL) que diffuse l'enceinte.

Le **tableau E** rappelle par combien il faut multiplier la puissance pour générer une augmentation du niveau sonore déterminée. Nous avons précédemment abordé ce sujet, mais il nous semble important d'y revenir afin de bien fixer les idées sur les grandeurs mises en jeu (un petit écart en niveau peut correspondre à un bond en puissance colossal).

En partant de ce tableau, on peut déterminer d'autres valeurs assez facilement. Il suffit d'additionner les valeurs en dB et de multiplier, entre eux, les facteurs de puissance associés. Par exemple : 6 dB correspond à « x 4 » et 7 dB correspond à « x 5 ». Par conséquent, 6 dB + 7 dB (13 dB) correspond à 4 x 5 (20), soit une puissance multipliée par 20 pour obtenir un gain de 13 dB en niveau.

## La musique et les niveaux sonores

La finalité d'un système de restitution sonore est d'écouter de la musique. Si l'on met de côté les synthétiseurs et autres instruments électroniques, la musique est généralement créée à partir de voix humaines et d'instruments acoustiques. En connaissant le niveau sonore maximum que peuvent atteindre certains instruments, on peut déjà se faire une idée sur la puissance que doit fournir un amplificateur pour que des enceintes d'une sensibilité donnée puissent fournir un tel niveau.

Nous avons réuni, dans le **tableau F**, quelques valeurs de pressions acoustiques maximales générées par certains instruments. Attention, chaque valeur correspond à un maximum possible (ne vous effrayez pas, vous ne « prendrez » certainement pas 108 dB dans les oreilles si vous écoutez un piano en concert) ! Dans ce tableau, nous avons fait correspondre chaque valeur de niveau à la puissance qu'il faut fournir pour alimenter trois enceintes différentes ayant respectivement des niveaux d'efficacité de 84 dB, 90 dB et 96 dB pour 1 W à 1 m.

Ce tableau représente les puissances qu'il faut atteindre si l'on écoute une seule enceinte et que l'on se situe à 1 m de celle-ci pour la mesure. Avec deux enceintes, l'addition

Augmentation de niveau	Puissance multipliée par
1 dB	x 1,3
2 dB	x 1,6
3 dB	x 2
4 dB	x 2,5
5 dB	x 3,2
6 dB	x 4
7 dB	x 5
8 dB	x 6,3
9 dB	x 7,9
10 dB	x 10
12 dB	x 16
14 dB	x 25
16 dB	x 40
18 dB	x 63
20 dB	x 100
22 dB	x 158
24 dB	x 250
26 dB	x 400
28 dB	x 631
30 dB	x 1000

**TABLEAU E** - Augmentation de la puissance nécessaire pour un écart en niveau déterminé.



		Efficacité de l'enceinte dB / 1 W / 1 m		
		84 dB	90 dB	96 dB
	Niveau maxi	Puissance nécessaire		
Clarinette	99 dB	32 W	8 W	2 W
Flûte	99 dB	32 W	8 W	2 W
Contrebasse	104 dB	100 W	25 W	6 W
Saxophone	106 dB	158 W	40 W	10 W
Trompette	107 dB	200 W	50 W	12 W
Piano	108 dB	250 W	63 W	16 W
Trombone	120 dB		995 W	249 W
Cymbales	122 dB			394 W
Orgue	123 dB			496 W
Grosse-caisse	126 dB			990 W
Orchestre 75 musiciens	130 dB			

**TABLEAU F - Puissances nécessaires, avec trois types d'enceintes différents, pour atteindre le niveau maximum de quelques instruments. Nous n'avons pas fait figurer les puissances supérieures à 1 000 W. Attention, il s'agit du niveau et de la puissance pour une seule enceinte située à 1 m du point de mesure.**

des sources sonores nous fait gagner 3 dB dans chaque situation. La puissance à fournir par l'amplificateur est donc réduite de moitié.

Attention, par contre, un auditeur se trouve très rarement à une distance de 1 m de ses enceintes. Pour une distance double, donc de 2 m, on perd en théorie 6 dB avec une source ponctuelle idéale.

Dans la réalité, avec une enceinte « normale » dans une salle « normale » semi-réverbérante, on perd 4 à 5 dB.

Au final, malgré le gain de 3 dB apporté par la présence de la deuxième enceinte, on perd encore 1 à 2 dB si l'on se trouve à une distance de 2 m et environ 8 dB si l'écoute se fait à 3 m des enceintes.

En se reportant au tableau E, cette perte de 8 dB implique de multiplier les puissances par un facteur de 6,3 ! On se rend compte ainsi des limites rapidement atteintes par un système d'enceintes de trop bas rendement. De même, avec un amplificateur de très faible puissance, une écoute à niveau réaliste ne peut s'envisager qu'avec des enceintes à très haut rendement.

Bien évidemment, les écoutes se font rarement dans de telles conditions. On ne cherche pas forcément à reproduire, chez soi, le niveau sonore d'un grand orchestre « en pleine colère ».

## Dynamique d'un enregistrement

S'il est intéressant de connaître le niveau maximum que peut générer un véritable instrument, il est encore plus captivant de connaître les besoins de son système hi-fi, en dynamique, pour restituer correctement les enregistrements que l'on veut écouter.

Pour connaître la dynamique d'un enregistrement, nous nous sommes livrés à une petite expérience... Nous avons relié la sortie d'un lecteur CD à notre oscilloscope

de mesures, puis nous avons mis l'un de nos passages musicaux « test » en lecture. Nous avons choisi l'extrait *Una furtiva lagrima* de Donizetti, où la voix de Luciano Pavarotti peut s'avérer destructrice pour les tympans, lorsqu'on écoute un système « qui fonctionne bien ». En réglant la vitesse de balayage de l'oscilloscope sur une très faible valeur, nous avons pu relever les évolutions de la tension du signal issu du lecteur CD durant les trois premières minutes de l'extrait (trois minutes et vingt secondes exactement).

Nous avons relevé une tension (crête à crête) de 0,3 V sur le début du morceau (passage le plus « doux »). Ensuite, sur le passage le plus « fort », la voix de L. Pavarotti se traduit par une tension d'un peu plus de 3 V en sortie du lecteur CD.

Par un simple calcul mathématique, on en déduit la dynamique « D » de cet extrait musical.

Soit « Vf » la tension la plus faible et « Vm » la tension maxi  

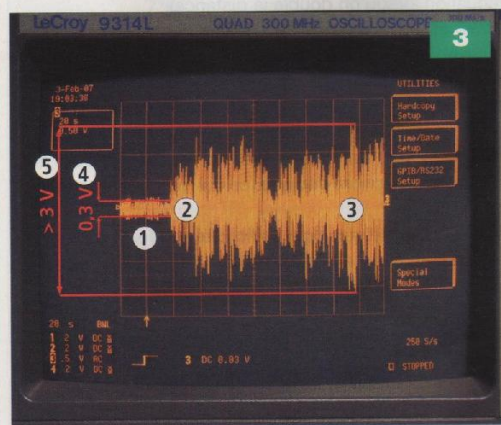
$$D = 20 \text{ Log } (V_m/V_f) = 20 \text{ Log}(10) = 20 \text{ dB}$$

Il s'agit d'un rapport de tensions, d'où l'utilisation de « 20 Log » au lieu de « 10 Log » comme avec les puissances.

En conclusion, notre système sonore doit être capable de restituer une dynamique de 20 dB pour « passer » cet extrait musical dans de bonnes conditions.

## Besoins réels en puissance

Nous venons de calculer que pour notre extrait musical choisi, le système de reproduction sonore devait être capable de restituer une dynamique utile de 20 dB. Nous précisons bien dynamique « utile », car les plus petites



Relevé, à l'oscilloscope, de « l'enveloppe » des trois premières minutes de l'extrait musical.

① A gauche, introduction en douceur de cet extrait, (musique). ② Démarrage du chant. ③ Passage où Luciano Pavarotti révèle toute la puissance de sa voix. ④ Relevé de la tension (moyenne) crête à crête correspondant au passage le plus doux, soit 0,3 V. ⑤ Relevé de la tension correspondant au passage de niveau le plus élevé, soit plus de 3 V.



informations sonores ne doivent pas être noyées dans le bruit de fond de la salle d'écoute.

Nous avons écouté notre extrait musical dans nos conditions de test habituelles. Nous avons réglé le volume de l'amplificateur pour une écoute « confortable » et vivante, dès les premières « notes » de l'extrait musical (passage le plus calme).

À notre point d'écoute situé à une distance de 4 m des enceintes, nous avons relevé un niveau de 85 dB sur ces premières « notes » (le bruit de fond de notre salle d'écoute n'étant pourtant que de 45 - 50 dB).

En plaçant le microphone de mesure à 1 m de l'une des enceintes, nous avons relevé un niveau de 92 dB. Sur la pointe de modulation du signal, le niveau atteint 112 dB, ce qui correspond bien à la dynamique de 20 dB relevée à l'oscilloscope.

Le **tableau G** représente la puissance que doit délivrer un amplificateur pour recréer nos conditions d'écoute, avec plusieurs enceintes de sensibilités différentes (soit 85 dB au début du morceau, à une distance de 4 m et 105 dB sur le passage le plus « violent »).

En observant ce tableau, on se rend compte que pour obtenir le même niveau sonore à la même distance, les besoins en puissance sont très différents en fonction des enceintes que l'on utilise.

On remarque que le niveau de 112 dB est pratiquement impossible à atteindre avec une enceinte de sensibilité inférieure à 89 dB (les puissances mises en jeu sont

		Niveau 92 dB à 1 m	Niveau 112 dB à 1 m
Sensibilité de l'enceinte en dB / W / 1 m	80 dB	16 W	1 600 W
	83 dB	8 W	800 W
	86 dB	4 W	400 W
	89 dB	2 W	200 W
	92 dB	1 W	100 W
	95 dB	0,5 W	50 W
	98 dB	0,25 W	25 W
	101 dB	0,125 W	12,5 W

**TABLEAU 6** - Puissances d'amplification nécessaires pour obtenir des niveaux de 92 dB et 112 dB à une distance de 1 mètre, avec des enceintes de sensibilités différentes. Sur le terrain, ces niveaux de 92 dB et 112 dB correspondent à des niveaux de 85 dB et 105 dB à une distance de 4 mètres, en écoutant deux enceintes (la puissance indiquée est celle que l'on applique à une seule enceinte).

gigantesques). A l'inverse, avec du « rendement », on obtient ce niveau acoustique avec une puissance « raisonnable » (puissance qui s'établit tout de même à 50 W pour une enceinte de 95 dB d'efficacité).

Des résultats à méditer pour ne pas se tromper lorsqu'on associe des enceintes à une électronique.

J. VALLIENNE



**ABONNEZ-VOUS**  
à  
**ÉLECTRONIQUE PRATIQUE**

à  
**ÉLECTRONIQUE PRATIQUE**

**43 €** (France Métropolitaine)

Offre réservée aux nouveaux abonnés dans la limite des stocks disponibles

**11 NUMÉROS + HORS-SÉRIE N°1 + HORS-SÉRIE N°2**

**A retourner à Transocéanic, Electronique Pratique, service abonnements, 3 boulevard Ney 75018 Paris - France**

Nom		Prénom	
Adresse			
Code postal	Ville/Pays	Tél ou e-mail	
Je profite de votre offre spéciale « Nouvel abonné » (Hors-série envoyés dès réception de votre demande d'abonnement - Tarifs frais de port compris) <b>Abonnement 11 numéros + Hors-série n°1 + Hors-série n°2</b> France Métropolitaine : 43,00 € - DOM par avion : 50,00 € - TOM par avion : 60,00 € UE : 52,00 € - Europe (hors UE), USA, Canada : 60,00 € - Autres pays : 70,00 €			
Je commande uniquement (cocher) <input type="checkbox"/> Hors-Série N°1 <input type="checkbox"/> Hors-série N°2 - France Métropolitaine : 7,00 € le numéro - 10,00 € les deux numéros (Autres pays : nous consulter)			
Je choisis mon mode de paiement : <input type="checkbox"/> Chèque à l'ordre d'Electronique Pratique <input type="checkbox"/> Virement bancaire (IBAN : FR76 3005 6000 3000 3020 1728 445 • BIC : CCFRFRPP) <input type="checkbox"/> Carte bancaire (compléter ci-dessous)			
J'inscris ici mon numéro de carte bancaire	<input type="text"/>	Expire le	<input type="text"/>
J'inscris ici les trois derniers chiffres du numéro cryptogramme noté au dos de ma carte	<input type="text"/>	Signature (obligatoire si paiement par carte bancaire)	
Conformément à la loi Informatique et libertés du 06/01/78, vous disposez d'un droit d'accès et de vérification aux données vous concernant.			