

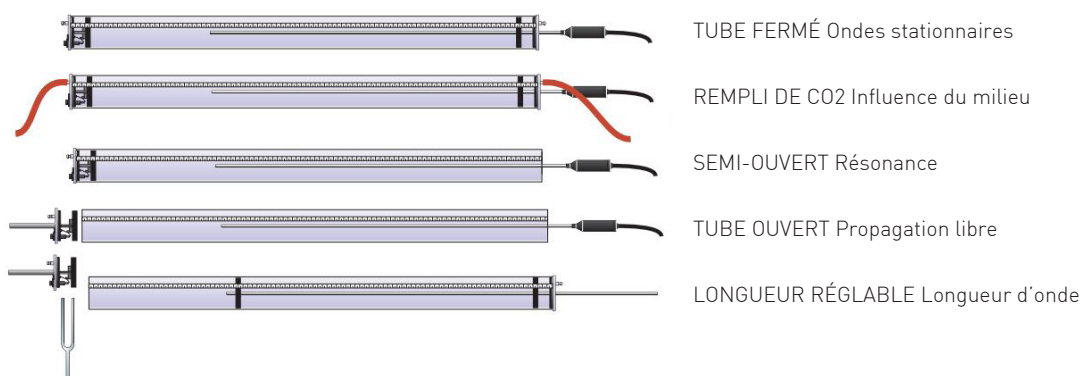
RÉSONANCE ACOUSTIQUE

Niveau Lycée

Etude des propriétés des ondes acoustiques dans un tube de Kundt

- Différentes configurations d'étude : tube fermé, semi-ouvert, ouvert, longueur réglable par piston...
- Différents milieux gazeux possibles : air ou CO₂

DIFFÉRENTES CONFIGURATIONS POSSIBLES



GRANDE DIMENSION

Permet de mesurer des pressions acoustique plus importantes et observer davantage de périodes

MODULAIRE

Les parois peuvent être retirées pour se placer dans différentes configurations

ÉTANCHE POUR LES GAZ

Peut être rempli avec différents gaz comme le CO₂ pour étudier l'influence de l'indice sur l'onde acoustique

TP CLÉS EN MAIN

REF

PRIX TTC

TP Résonance acoustique dans une colonne d'air ou tube de Kundt



- 1 Tube de Kundt gradué grande dimension, dia.70mm et long.100cm
- Parois amovibles pour changer la configuration du tube
- 1 Microphone sur tige longue, avec piston
- 1 Boîtier d'alimentation et d'adaptation d'impédance pour microphone
- 1 Haut-parleur emboîtable dans le tube de kundt, avec entrées 4mm
- 2 supports de tube de Kundt
- 2 Pieds d'optique en V
- Toute la connectique nécessaire au bon fonctionnement

TPW311

600 €

TP Complet Résonance acoustique avec instrumentation

- 1 Tube de Kundt gradué grande dimension, dia.70mm et long.100cm
- Parois amovibles pour changer la configuration du tube
- 1 Microphone sur tige longue, avec piston
- 1 Boîtier d'alimentation et d'adaptation d'impédance pour microphone
- 1 Haut-parleur emboîtable dans le tube de kundt, avec entrées 4mm
- 2 supports de tube de Kundt
- 2 Pieds d'optique en V
- 1 Générateur Basse Fréquence, écran couleur TFT 4", 10MHz
- 1 Oscilloscope numérique 2 voies 30MHz, écran couleur TFT 8"
- Toute la connectique nécessaire au bon fonctionnement

TPW312

1200 €

ACCESSOIRES AU DÉTAIL OU OPTION COMPLÉMENTAIRES

REF

PRIX TTC

Sonde Microphone longue, avec pré-ampli	CWM301	135 €
Boîtier amplificateur et conformateur de signaux microphone, sorties fiches 4mm	CWM300	120 €
Tube de Kundt Grand Diamètre 70mm, Grande longueur 100cm, avec piston et supports	WMV301	315 €
Paire de diapasons 440 Hz sur caisse de résonance avec masses glissières + marteau mou	WMA124	129 €
Jeu de 4 diapasons, accord en Do majeur : 256, 322, 384, 512Hz sur caisse de résonance + marteau mou	WMA125	285 €
Générateur Basse Fréquence 10MHz, écran couleur TFT 4"	EIG112	297 €
Oscilloscope 2 voies 30MHz, écran couleur TFT 8"	EIO503	315 €
Sonomètre digital 35-135db, avec sortie analogique jack 3.5, BP 30-8kHz, Résolution 0.1dB	CSM885	120 €

VITESSE DU SON

Etude des propriétés des ondes acoustiques dans l'air

- Mesure de la vitesse du son dans l'air par génération d'une impulsion sonore.
- Caractérisation d'un son, amplitude, période, fréquence fondamentale et harmoniques, niveau sonore...

MESURE MANUELLE DE LA VITESSE DU SON (TPW301)

Cet ensemble met l'accent sur le procédé de la mesure de la vitesse du son, en utilisant des micros, des amplificateurs BNC et un oscilloscope pour synchroniser et déterminer le décalage temporel des signaux.

MESURE AUTOMATIQUE DE LA VITESSE DU SON (TPW303)

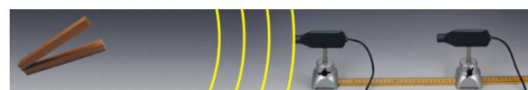
Cet ensemble permet de se concentrer davantage sur les paramètres pouvant affecter la vitesse du son (température/humidité) en ayant un procédé de mesure fiable et précis grâce au compteur électronique et sa résolution de 0.01ms.

CARACTERISATION D'UN SON (TPW302)

Cet ensemble est recommandé avec un système EXAO permettant d'enregistrer et d'analyser les spectres sonores. Il peut être toutefois utilisé avec un oscilloscope et un sonomètre seulement.




Clap



Start



Stop

TP CLÉS EN MAIN	REF	PRIX TTC
<p>TP Mesure de la vitesse du son dans l'air à l'oscilloscope</p> <p>2 Microphones 2 Amplificateurs de Microphone, sorties BNC 1 Clapet 2 Pieds d'optique en V 1 Mètre ruban</p>	TPW301	240 €
 <p>TP Mesure de la vitesse du son dans l'air avec compteur électronique</p> <p>2 Microphones FK haute qualité avec câbles DIN adaptés 1 Compteur électronique 0.01ms, avec 2 entrées micro 1 Clapet 2 Pieds d'optique en V 1 Mètre ruban</p>	TPW303	480 €
<p>TP Détermination des caractéristiques d'un son dans l'air</p> <p>1 Microphone sur pied d'optique en V 1 Amplificateur de Microphone, sorties BNC 1 Haut parleur sur socle, large bande, entrées fiches 4mm 1 Clapet 1 Paire de diapasons 440 Hz sur caisse de résonance avec glissières 1 Marteau mou 1 Sonomètre digital 35-135dB, résolution 0.1dB 1 Mètre ruban</p>	TPW302	420 €
ACCESSOIRES AU DÉTAIL OU OPTION COMPLÉMENTAIRES	REF	PRIX TTC
Microphone à electret sur tige dia.10mm	CWM315	39 €
Amplificateur de microphone, entrée jack, sorties fiches 4mm, avec pile 9V	CWM310	54 €
Haut-parleur sur socle, puissance 40W max, Impédance 8 ohms, BP 16kHz, entrées fiches 4mm	WMA232	48 €
Paire de diapasons 440 Hz sur caisse de résonance avec masses glissières + marteau mou	WMA124	129 €
Jeu de 4 diapasons, accord en Do majeur : 256, 322, 384, 512Hz sur caisse de résonance + marteau mou	WMA125	285 €
Compteur électronique avec 2 entrées analogiques, résolution 0.01ms	CWT200	300 €
Oscilloscope 2 voies 30MHz, écran couleur TFT 8"	EIO503	315 €
Sonomètre digital 35-135db, avec sortie analogique jack 3.5, BP 30-8kHz, Résolution 0.1dB	CSM885	120 €

INTERFERENCES EN ULTRASONS

 Platinas
 motorisées
 Page 105

Etude approfondie de différents phénomènes possibles avec les ondes ultrasonores

- Interférences induites par 2 émetteurs synchrones
 - Montage classique sur banc : TPW111
 - Version avec plateforme pilotable : TPW115
- Interféromètre de Michelson en ultrasons
 - Montage classique sur banc : TPW121
 - Version avec plateforme pilotable : TPW125



Retrouvez ce matériel et ces expériences en vidéo sur notre chaîne YouTube et sur notre site internet

INTERFERENCES PAR DIVISION DE FRONT D'ONDE (DEUX ÉMETTEURS SYNCHRONES)


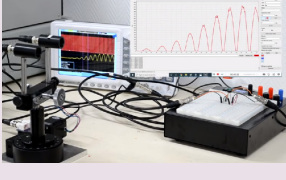


On place deux émetteurs dans un support à écartement variable en les dirigeant dans la même direction, ceux-ci sont alimentés de façon synchrone avec la console Ultrasons. Pour réaliser l'expérience, plusieurs possibilités :

- Les émetteurs sont fixes et le récepteur est placé sur un banc d'optique, de préférence goniométrique, pour parcourir la zone d'interférences (TPW111).
- Le récepteur est fixe, les émetteurs sont placés sur un support double et une plateforme qui est pilotée en rotation. C'est la zone d'interférences qui bouge

INTERFERENCES PAR DIVISION D'AMPLITUDE (INTERFEROMETRE DE MICHELSON)

Un écran "semi-perméable" à incidence 45°, divise une onde ultrasonore en deux paquets d'ondes qui se propagent à angle droit l'un de l'autre. Ils sont ensuite réfléchis sur des écrans métalliques qui font office de "miroirs ultrasonores", dont l'un est fixe et l'autre peut être déplacé dans la direction du faisceau, avant d'être réunis. Le déplacement du réflecteur mobile induit une variation de la différence de marche et provoque des maxima et des minima de pression acoustique en sortie de l'interféromètre. La longueur d'onde de l'ultrasons peut être déterminée à partir de ces données. Pour réaliser l'expérience, plusieurs possibilités :

- Avec des bancs prismatiques à 90°. La longueur d'onde étant de l'ordre du cm, un des miroirs est placé sur un cavalier à réglage micrométrique (TPW121).
- Sur pieds d'optique + 1 platine de translation motorisée. Le miroir mobile est piloté de façon précise, et le signal US enregistré en fonction du déplacement

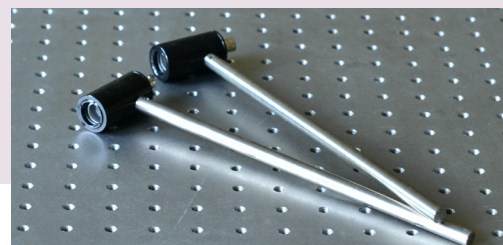
TP CLÉS EN MAIN	REF	PRIX TTC
 <p>TP Diffraction, Interférences, Déphasage en Ultrasons, sur bancs</p> <p>1 banc prismatique 120cm + 1 banc prismatique 60cm 1 accouplement goniométrique pour bancs prismatiques 3 cavaliers prismatiques + 1 pied d'optique en V 1 support double avec système d'écartement réglable 1 obstacle fente simple, 1 obstacle bifente, métallique, sur tige 2 émetteurs US 40kHz à sortie BNC, sur tige 2 récepteurs US 40kHz à sortie BNC, sur tige 1 console de pilotage US polyvalente : continu, salves, amplification 1 oscilloscope 2 voies 30MHz, écran couleur TFT 8"</p>	TPW111	1440 €
 <p>TP Interférences par 2 émetteurs synchrones, avec plateforme pilotable</p> <p>1 platine rotative pilotable avec interface et logiciel d'acquisition 1 pied d'optique en V 1 support double avec système d'écartement réglable 2 émetteurs US 40kHz à sortie BNC, sur tige 1 récepteur US 40kHz à sortie BNC, sur tige 1 console de pilotage US polyvalente : continu, salves, amplification</p>	TPW115	990 €
 <p>TP Interféromètre de Michelson en Ultrasons, sur bancs</p> <p>1 paire de bancs prismatiques 60cm avec accouplement goniométrique 1 cavalier standard et 1 cavalier à réglage transversal de précision (Y) 1 pied d'optique standard et 1 pied d'optique à réglage latéral X 2 écrans métalliques + 1 écran semi-perméable aux ultrasons 1 émetteur et 1 récepteur US 40kHz à sortie BNC, sur tige 1 console de pilotage US polyvalente : continu, salves, amplification 1 oscilloscope 2 voies 30MHz, écran couleur TFT 8"</p>	TPW121	1485 €
 <p>TP Interféromètre de Michelson en Ultrasons, avec plateforme pilotable</p> <p>1 plateforme de translation pilotable avec interface et logiciel d'acquisition 3 pieds d'optique standard et 1 pied d'optique à réglage latéral X 2 écrans métalliques + 1 écran semi-perméable aux ultrasons 1 émetteur et 1 récepteur US 40kHz à sortie BNC, sur tige 1 console de pilotage US polyvalente : continu, salves, amplification</p>	TPW125	1095 €
ACCESSOIRES AU DÉTAIL OU OPTIONS COMPLÉMENTAIRES	REF	PRIX TTC
Support double avec système d'écartement réglable	OSH280	99 €
Paire d'obstacles (fente simple + bi fente), en tôle noire, sur tige	WMU092	78 €
Ecran semi-perméable aux ultrasons, sur tige	WMU095	90 €
Plateforme pilotable de translation avec interface et logiciel d'acquisition	OBM440	570 €
Platine rotative pilotable avec interface et logiciel d'acquisition	OBM460	570 €

Niveau Lycée

ULTRASONS DANS L'AIR

Effet
Doppler
Page 224**Etude des propriétés élémentaires des ondes ultrasonores**

- Résonance et cône d'émission des transducteurs ultrasonores
- Vitesse de propagation d'une onde ultrasonore
- Réflexion d'une onde ultrasonore, principe du sonar, radar, télémètre

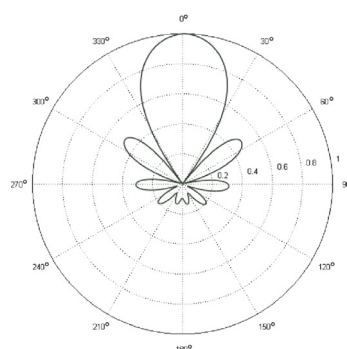


CARACTÉRISATION D'UN TRANSDUCTEUR ULTRASONS 40KHZ

Fréquence de résonance : On place l'émetteur et le récepteur face à face. L'émetteur est alimenté en continu, on varie sa fréquence d'émission à l'aide de la console de pilotage. On relève la fréquence pour laquelle l'amplitude du signal est maximale et on la conserve pour le reste des expériences.

Cône d'émission : On déplace ensuite le récepteur (latéralement ou angulairement) autour de l'émetteur afin d'étudier le cône d'émission des transducteurs, en relevant les différentes amplitudes selon les angles de réception.

Vitesse de propagation : L'émetteur et le récepteur sont positionnés à distance connue et la console de pilotage est réglée sur le mode salve. La mesure de la vitesse de propagation se fait par temps de vol.



TP CLÉS EN MAIN

REF

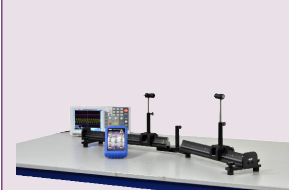
PRIX TTC

**TP Introduction aux ultrasons**

- 1 émetteur US 40kHz à sortie BNC, sur tige
- 1 récepteur US 40kHz à sortie BNC, sur tige
- 1 console de pilotage US polyvalente : continu, salves, amplification
- 2 pieds d'optique en V
- 1 mètre ruban
- 1 oscilloscope 2 voies 30MHz, écran couleur TFT 8"

TPW101

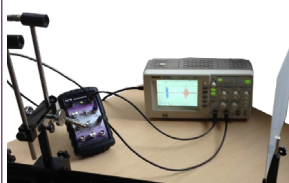
660 €

**TP Caractérisation des ultrasons : fréquence, cône d'émission, vitesse**

- 1 paire de bancs profilé plat 60cm avec acouplement goniométrique
- 2 cavaliers à colonne haute
- 1 émetteur US 40kHz à sortie BNC, sur tige
- 1 récepteur US 40kHz à sortie BNC, sur tige
- 1 console de pilotage US polyvalente : continu, salves, amplification
- 1 oscilloscope 2 voies 30MHz, écran couleur TFT 8"

TPW102

870 €

**TP Principe du sonar et du télémètre à ultrasons**

- 1 banc profilé lycée 120cm avec 2 cavaliers à colonne haute
- 1 support double avec système d'écartement réglable
- 1 écran métallique
- 1 émetteur US 40kHz à sortie BNC, sur tige
- 1 récepteur US 40kHz à sortie BNC, sur tige
- 1 console de pilotage US polyvalente : continu, salves, amplification
- 1 oscilloscope 2 voies 30MHz, écran couleur TFT 8"

TPW103

900 €

ACCESSOIRES AU DÉTAIL OU OPTIONS COMPLÉMENTAIRES

REF

PRIX TTC

Support double avec système d'écartement réglable

OSH280

99 €

Emetteur ultrasons 40kHz, BNC, sur tige

WMU010

57 €

Récepteur ultrasons 40kHz, BNC, sur tige

WMU011

57 €

Générateur simple de salves ultrasons 40kHz

WMU040

79,50 €

Console polyvalente de pilotage et d'amplification pour US 40kHz, entrées et sorties BNC

WMU050

198 €

Oscilloscope 2 voies 30MHz, écran couleur TFT 8"

EIO503

315 €

Générateur Basse Fréquence 10MHz, écran couleur TFT 4"

EIG112

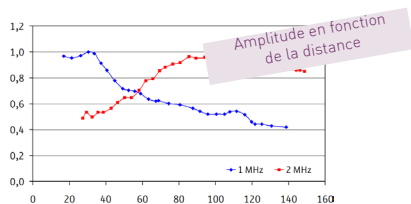
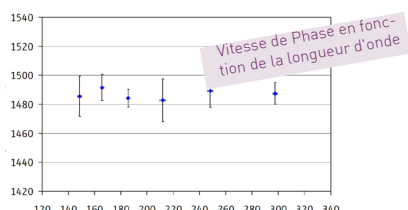
297 €

ONDES ACOUSTIQUES DANS LES FLUIDES

EXPERIENCES

Etude dans le domaine des ultrasons

- Détermination de la vitesse de phase d'une onde ultrasonore dans l'eau (TPW481)
- Détermination de la vitesse de groupe d'une onde ultrasonore dans l'eau (TPW481)
- Interférences dans l'eau et principe de Huygens (TPW482)
- Champ proche et champ lointain d'une sonde ultrasonore (TPW482)
- Zone de mise au point, résolution axiale et latérale d'une sonde MHz (TPW482)



DETERMINATION DE LA VITESSE DE PHASE D'UNE ONDE ULTRASONORE DANS L'EAU

La vitesse de phase est mesurée pour plusieurs fréquences en fonction de la longueur d'onde. Pour cela, un hydrophone est déplacé le long de l'axe sonore de la sonde ultrasons MHz. Le signal de l'hydrophone est récupéré sur un oscilloscope. En mesurant la variation de la distance sonde-hydrophone et le nombre respectif de phases à une fréquence fixe, il est possible de déterminer la longueur d'onde et donc la vitesse de phase.

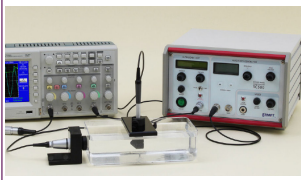
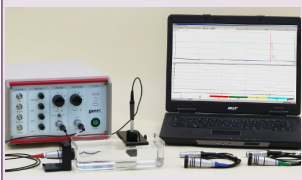
DETERMINATION DE LA VITESSE DE GROUPE D'UNE ONDE ULTRASONORE DANS L'EAU

Pour déterminer la vitesse de groupe, le générateur echoscope est réglé en mode impulsif de sorte que de courtes impulsions ultrasonores soient générées à partir de la sonde multifréquence. En mesurant le temps de vol T d'une impulsion ultrasonore sur une certaine distance D entre la sonde ultrasonore et l'hydrophone, il est possible de déterminer la vitesse de groupe $C_g = D/T$.

CARACTERISATION D'UNE SONDE MHZ : CHAMP, PUISSANCE, RESOLUTION

Les sondes à ultrasons ont une puissance de résolution axiale et latérale différente en fonction de leur fréquence. En raison d'interférences selon le principe de Huygens, il se produit un champ sonore qui peut être divisé en deux zones, le champ proche avec des modulations d'amplitude et le champ lointain qui apparaît comme un faisceau sonore d'amplitude décroissante.

Dans l'expérience, les amplitudes de pression acoustique pour deux sondes (1 MHz et 2 MHz) sont mesurées avec un hydrophone le long de l'axe de propagation du son. À partir des courbes de mesure, les zones de focalisation des sondes sont déterminées et comparées aux valeurs de la longueur de champ proche. Les longueurs de champ proche peuvent théoriquement être calculées à partir des rayons de la céramique du transducteur et de sa longueur d'onde.

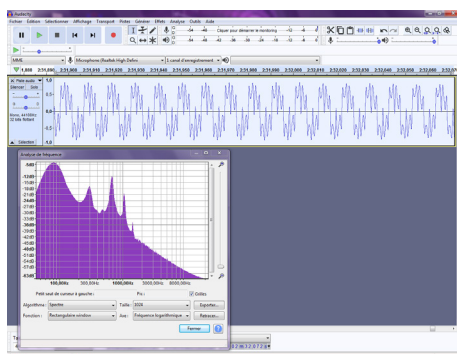
TP CLÉS EN MAIN	REF	PRIX TTC
 <p>TP Vitesse de phase et de groupe d'une onde ultrasonore dans l'eau</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 Console Génératrice d'Ultrasons CW haute fréquence et puissance 1 Sonde Ultrasons à fréquence variable 1-13MHz 1 Hydrophone ponctuel 1-5 MHz, sur tige, câblé BNC 1 Bac à liquide avec support de sonde et support d'hydrophone 1 Tube de gel acoustique 	TPW481	3720 €
 <p>TP Etude du champ sonore d'une sonde ultrasons MHz dans l'eau</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 Sonde Ultrasons à 1MHz 1 Sonde Ultrasons à 2MHz 1 Console Echoscopes US avec logiciel d'exploitation et d'imagerie inclus 1 Hydrophone ponctuel 1-5 MHz, sur tige, câblé BNC 1 Bac à liquide avec support de sonde et support d'hydrophone 1 Tube de gel acoustique 	TPW482	6240 €
ACCESSOIRES AU DÉTAIL OU OPTIONS COMPLÉMENTAIRES	REF	PRIX TTC
Kit Hydrophone MHz avec bac à liquide, support de sonde et d'hydrophone	CWM881	600 €
Hydrophone 1-5 MHz seul, câblé BNC	CWM880	480 €
Sonde à ultrasons haute fréquence, haute intensité, 1MHz	WMG411	600 €
Sonde à ultrasons haute fréquence, haute intensité, 2MHz	WMG412	600 €
Sonde à ultrasons haute fréquence, haute intensité, 4MHz	WMG414	600 €
Sonde à ultrasons CW à fréquence variable, 1-13MHz	WMG210	600 €
Console Génératrice d'Ultrasons CW haute fréquence et puissance	WMG200	2550 €
Générateur console Echoscopes Multifonctions avec logiciel d'exploitation	WMG400	4500 €

ONDES ACOUSTIQUES DANS LES FLUIDES

Etude dans le domaine des sons audibles et des ultrasons

- Mesure de la vitesse du son dans un liquide (TPW201 - TPW281 - TPW282)
- Résonance acoustique en fonction du volume d'eau (TPW281 - TPW282)
- Fréquences de vibration de l'eau (TPW281 - TPW282)
- Principe du sonar (TPW201 - TPW282)
- Absorption et isolation acoustique (TPW201 - TPW282)

Hydrophones
Page 221






UTILISATION DES TRANSDUCTEURS ULTRASONS IMMERSIBLES

Ces transducteurs parfaitement étanches sont utilisables en émission comme en réception et peuvent fonctionner entre 30 et 42kHz. Ils peuvent s'alimenter avec un GBF, avec la console adaptée, ou avec un générateur de salves 40kHz. Dans les liquides, la fréquence de résonance des transducteurs se situera généralement autour de 32-33kHz et il est fortement recommandé de travailler en salves courtes pour la plupart des expériences. Le signal est amplifié puis récupéré sur un oscilloscope.

UTILISATION DES HYDROPHONES ET ENCEINTES IMMERSIBLES

Les hydrophones sont des microphones immersibles avec des impédances particulières qui nécessitent une grande qualité d'amplification. L'interface fournie permet d'amplifier le signal audio et de proposer plusieurs sorties (analogiques ou numériques) pour exploiter le signal. Le meilleur rapport signal sur bruit est obtenu par USB avec la carte son du PC. Les signaux peuvent facilement être récupérés et analysés sur des logiciels classiques d'enregistrement comme Audacity. Les enceintes immersibles permettent d'envoyer un son directement dans le milieu liquide. L'envoi du signal sonore se fait par bluetooth, depuis votre smartphone ou depuis votre ordinateur.

TP CLÉS EN MAIN	REF	PRIX TTC
 <p>TP Mesure de la vitesse des ultrasons dans l'eau</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 paire de transducteurs US étanches 40kHz, cablés BNC 1 console de pilotage US polyvalente : continu, salves, amplification 2 potences sur pieds avec pinces pour maintien des transducteurs 1 bac en plexiglass, de dimension adaptée 1 lot d'accessoires d'étude de l'absorption (plaques et enceintes d'air) 1 oscilloscope 2 voies 30MHz, écran couleur TFT 8" 	TPW201	990 €
 <p>TP Ondes sonores dans l'eau</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 Hydrophone profilé haute résistance et densité élevée, 20Hz à 4kHz 1 Interface d'amplification et d'adaptation de signaux (jack/USB) 1 Enceinte bluetooth immersible, 3W minimum 1 Potence sur pied pour maintien de l'hydrophone 1 Bac en plexiglass, de dimension adaptée 	TPW281	570 €
 <p>TP Analyse des ondes acoustiques dans l'eau : sons et ultrasons</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 Hydrophone hautes performances avec préampli, 1Hz à 100kHz 1 Interface d'amplification et d'adaptation de signaux (jack/USB) 1 Paire de transducteurs US étanches 40kHz, cablés BNC 1 Console d'alimentation et d'amplification pour US 1 Enceinte bluetooth immersible, 3W minimum 2 Potences sur pied pour maintien des sondes 1 Bac en plexiglass, de dimension adaptée 1 Lot d'accessoires d'étude de l'absorption (plaques et enceintes d'air) 	TPW282	1500 €
ACCESSOIRES AU DÉTAIL OU OPTIONS COMPLÉMENTAIRES	REF	PRIX TTC
Hydrophone polyvalent 20Hz - 4kHz avec interface d'amplification et d'adaptation	CWM802	360 €
Hydrophone large bande de précision 1Hz-100kHz avec interface d'amplification et d'adaptation	CWM812	750 €
Haut-parleur immersible, puissance 3W minimum, communication bluetooth	CWM897	24 €
Générateur de salves ultrasons 40kHz	WMU040	79,50 €
Paire de transducteurs US fluides-solides à parois vibrantes 30-40kHz, cablé BNC, sur tige	WMU200	180 €
Console de pilotage et d'amplification pour US 40kHz, entrées et sorties BNC	WMU050	198 €
Oscilloscope 2 voies 30MHz, écran couleur TFT 8"	EIO503	315 €
Générateur Basse Fréquence 10MHz, écran couleur TFT 4"	EIG112	297 €

ONDES DE CISAILLEMENT DANS LES SOLIDES

Etude approfondie des ondes acoustiques dans les solides

- Ondes transversales et longitudinales.
- Ultrasons guidés : ondes de Lamb
- Ondes de surface : ondes de Rayleigh

Les mêmes sondes et consoles peuvent être utilisées pour réaliser les 3 thématiques. Pour un kit 3 en 1 optimisé, vous pouvez choisir l'un des TP et compléter avec les 2 autres kits complémentaires se trouvant dans le tableau des accessoires.

EXPERIENCES

ONDES TRANSVERSALES DITES DE CISAILLEMENT (TPW421)

Contrairement aux gaz et aux liquides, dans les solides, les ondes de cisaillement et les ondes longitudinales peuvent être excitées en raison de leurs propriétés de matériau élastique. Lors du passage à travers une plaque plane parallèle, ces ondes sont excitées en fonction de l'angle d'incidence. Les angles de réflexion totale et de maximum de transmission permettent de remonter à la vitesse du son respective pour l'onde de cisaillement et celle pour l'onde longitudinale, et de calculer le module d'élasticité, de cisaillement et le coefficient de Poisson.

ONDES ULTRASONORES GUIDÉES DITES ONDES DE LAMB (TPW422)

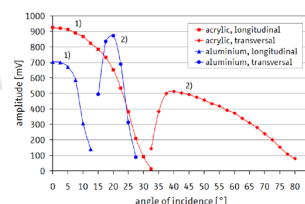
Le phénomène des ondes de Lamb résulte de la superposition d'ondes ultrasonores longitudinales et de cisaillement dans des plaques minces, dont l'épaisseur est inférieure à la longueur d'onde ultrasonore. Ces ondes montrent d'une part un changement dépendant de la fréquence de leur vitesse de propagation et d'autre part, une présence sous la forme de modes symétriques et antisymétriques qui se propagent dans le matériau indépendamment les uns des autres.

Dans l'expérience, différents modes sont stimulés dans des plaques fines de verre, en utilisant des adaptateurs avec des angles d'incidence spécifiques. On peut étudier l'influence de l'épaisseur de la plaque, la fréquence et vitesse de groupe des ondes guidées, les coefficients élastiques des matériaux.

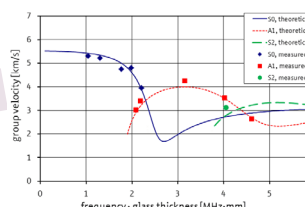
ONDES DE SURFACE, ONDES DE RAYLEIGH (TPW423)

Les ondes de Rayleigh sont des ondes de surface qui se propagent le long de la frontière libre d'un solide. Ils peuvent être utilisés pour détecter des défauts de surface. Dans l'expérience, un bloc d'essai avec des fissures calibrées est étudié. Les ondes de Rayleigh sont produites par conversion de mode à partir d'ondes longitudinales au moyen d'une sonde US 1MHz à 90° et d'un stimulateur. La vitesse des ondes de Rayleigh est déterminée par temps de vol. En comparant les amplitudes de transmission sans et avec fissure, la profondeur de fissure peut être estimée.

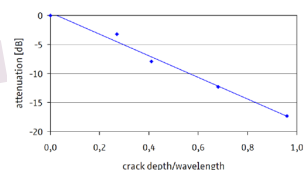
Amplitude en fonction de l'angle d'incidence



Vitesse de groupe selon la fréquence et l'épaisseur



Atténuation en fonction de la profondeur de la fissure



TP CLÉS EN MAIN	REF	PRIX TTC
 <p>TP Etude des ondes de cisaillement dans les solides 2 Sondes Ultrasons à 1MHz avec flacon de gel acoustique 1 Console Echoscopes US avec logiciel d'exploitation et d'imagerie inclus 1 Kit Etude des ondes de cisaillement avec : - bac à liquide et support de sondes - échantillon acrylique avec support rotatif gradué sur 360° - échantillon aluminium avec support rotatif gradué sur 360°</p>	TPW421	5970 €
 <p>TP Etude des ondes de Lamb, et propagation guidée des ultrasons 2 Sondes Ultrasons à 1MHz avec flacon de gel acoustique 1 Console Echoscopes US avec logiciel d'exploitation et d'imagerie inclus 1 Kit Etude des ondes de Lamb et guides d'onde ultrasonores : - jeu de 6 guides acrylique avec angles spécifiques d'incidence, 12 à 35° - deux plaques en verre aux propriétés calibrées, épaisseur 1 et 1.3mm</p>	TPW422	6780 €
 <p>TP Etude des ondes de surface et de Rayleigh 2 Sondes Ultrasons à 1MHz avec flacon de gel acoustique 1 Console Echoscopes US avec logiciel d'exploitation et d'imagerie inclus 1 Kit Etude des ondes de Rayleigh et des ondes de surface : - bloc de test des ondes de Rayleigh avec différentes fissures calibrées - une paire de stimulateurs pour adapter les sondes sur le bloc de test</p>	TPW423	5940 €
ACCESSOIRES AU DÉTAIL OU OPTIONS COMPLÉMENTAIRES	REF	PRIX TTC
Kit Etude des ondes de cisaillement	WMG221	360 €
Kit Etude des ondes de Lamb et guides d'onde ultrasonores	WMG222	1170 €
Kit Etude des ondes de Rayleigh et des ondes de surface	WMG223	330 €
Sonde à ultrasons haute fréquence, haute intensité, 2MHz	WMG412	600 €
Sonde à ultrasons haute fréquence, haute intensité, 4MHz	WMG414	600 €
Générateur console Echoscopes Multifonctions avec logiciel d'exploitation	WMG400	4500 €

ONDES ACOUSTIQUES DANS LES SOLIDES

Etude dans le domaine des ultrasons

Dans les milieux solides, on considère la propagation d'ondes acoustiques suivants différents types de critères : polarisation, domaine d'application, milieux d'existence...

Une étude en basse fréquence (30-40kHz) est proposée dans le TPW211, pour mesurer la vitesse de propagation et l'atténuation de l'onde dans différents solides.

Une étude plus appliquée est possible dans le TPW410 avec des sondes Ultrasons MHz qui permettent d'identifier et de mesurer la plupart des caractéristiques et propriétés de l'onde ultrasonore quand elle se propage dans un milieu solide et d'illustrer le principe de l'échographie.

CARACTÉRISATION D'UNE ONDE ACOUSTIQUE DANS UN MILIEU SOLIDE

Une des premières caractéristiques que l'on cherche généralement à étudier est la vitesse de propagation de l'onde acoustique dans le milieu solide. Celle-ci est toutefois plus délicate à déterminer que dans les fluides car d'autres phénomènes interviennent dans les solides.

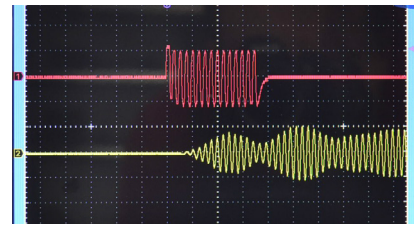
Une propriété qui devient fondamentale dans les solides est la direction de vibration de l'onde que l'on qualifie de **polarisation**. Elle est longitudinale (**ondes de compression**) dans la plupart des milieux de propagation, mais dans les solides, elle peut être aussi transversale (**ondes de cisaillement**).

Une autre caractéristique importante est son **domaine de fréquence** qui impacte généralement son domaine d'application. L'onde US peut être basse fréquence (20-500kHz : Décapage), haute fréquence (500kHz-10MHz : Contrôle non destructif), très haute fréquence (10MHz à 1GHz : Microscopie US).

En effet, au cours de sa propagation, le signal est soumis à une **atténuation** de son amplitude qui dépend de la distance parcourue, du milieu de propagation mais aussi de la fréquence de l'onde. Elle s'exprime donc en dB/m/MHz. Les ultrasons hautes fréquences sont ainsi atténués beaucoup plus rapidement et ne peuvent être utilisés que pour l'exploration de structures superficielles. A l'inverse, pour explorer sur plusieurs centaines de mètres (sonar), on utilisera les fréquences les plus basses.

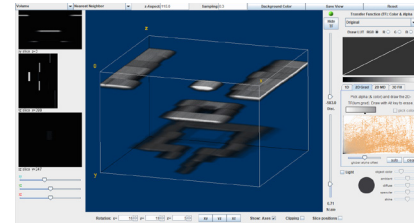
Enfin, ces ondes possèdent plusieurs **domaines d'existence** : on distingue les **ondes de volume** (qui ont un déplacement rectiligne) et les **ondes de surface** (qui ont un déplacement elliptique).

Certaines spécificités particulières de ces ondes peuvent être aussi étudiées, comme la conversion des modes de propagation lors d'un phénomène de réflexion/transmission.



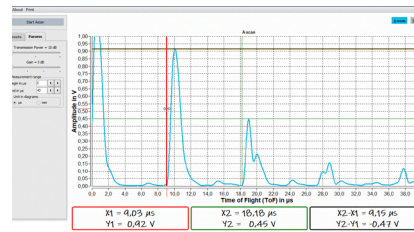
TPW211

Propagation d'une salve US à 40kHz dans une barre d'aluminium



TPW410

Reconstitution de la pyramide d'étude par un scan échographique 3D



TPW410

Analyse non intrusive d'une structure solide à plusieurs interfaces et matériaux

TP CLÉS EN MAIN

REF

PRIX TTC



TP Propagation des Ultrasons basses fréquences dans les solides

- 1 paire de transducteurs US fluides-solides à parois vibrantes 30-40kHz
- 1 console d'alimentation et d'amplification
- 3 barreaux d'aluminium, section dia.30mm, de longueurs différentes
- 4 barreaux de plexiglass, section dia.30mm, de longueurs différentes
- 1 jeu d'échantillons d'étude de l'absorption avec différents matériaux
- 1 support de barreau sur pied d'optique en V
- 2 supports de transducteurs sur pieds d'optique en V
- 1 oscilloscope 2 voies 30MHz, écran couleur TFT 8"
- 1 flacon de gel acoustique

TPW211

990 €



TP Analyse et Imagerie échographique dans les solides

- 1 Sonde échographique solidaire 2MHz avec flacon de gel acoustique
- 1 Boitier compact d'alimentation et d'acquisition
- 1 Logiciel d'exploitation et d'imagerie inclus
- 4 Cylindres acrylique de hauteur différente
- 4 Cylindres de différents matériaux (laiton, aluminium, PVC, verre)
- 1 Bloc acrylique rectangulaire pour visualisation 2D de défauts
- 1 Pyramide modulable 3D pour imagerie en 3 dimension

TPW410

3000 €

ACCESSOIRES AU DÉTAIL OU OPTIONS COMPLÉMENTAIRES

REF

PRIX TTC

Paire de transducteurs US fluides-solides à parois vibrantes 30-40kHz, câblé BNC, sur tige

WMU200

180 €

Console de pilotage et d'amplification pour US 40kHz, entrées et sorties BNC

WMU050

198 €

Kit échantillons d'étude des ultrasons dans les solides avec : 3 barres aluminium, 3 barres plexi, 1 plaque aluminium d'étude

WMU299

180 €

Générateur Basse Fréquence 10MHz, écran couleur TFT 4"

EIG112

297 €

Oscilloscope 2 voies 30MHz, écran couleur TFT 8"

EIO503

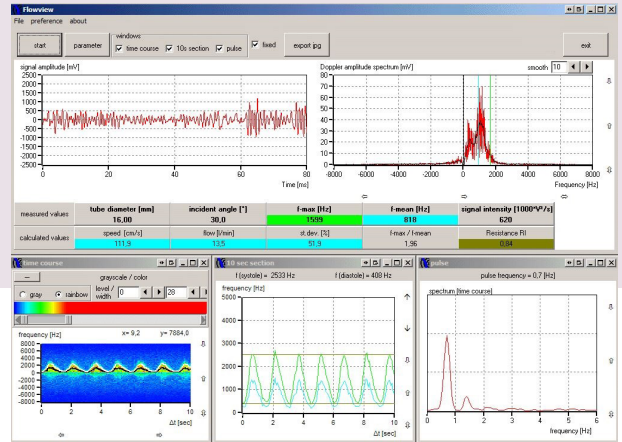
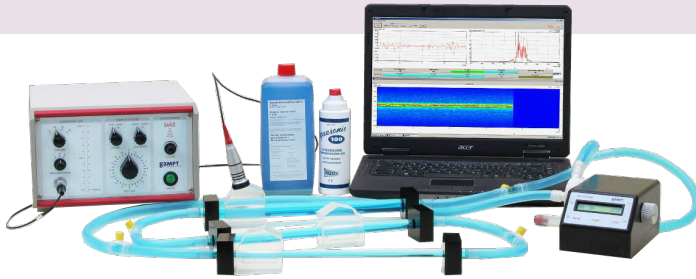
315 €

VÉLOCIMÉTRIE DOPPLER EN ULTRASONS

EXPERIENCES

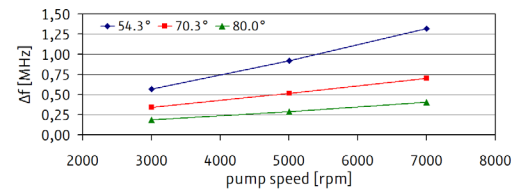
Mesure d'un débit sur le principe de l'effet Doppler acoustique

- Décalage de fréquence
- Diffusion des ondes ultrasonores sur les particules
- Effet Doppler, dépendance de l'angle Doppler
- Echographie Doppler, mesure de pouls



PRINCIPE DE LA VELOCIMETRIE DOPPLER EN ULTRASONS

L'effet Doppler fait référence au changement de la fréquence perçue des ondes lorsque l'émetteur et le récepteur sont en mouvement l'un par rapport à l'autre. Les ultrasons peuvent alors être utilisés pour déterminer la vitesse d'écoulement et/ou le débit d'un écoulement de liquide. Ici, le décalage de fréquence d'une onde ultrasonore, qui est couplé dans le flux de liquide à un angle Doppler particulier, est mesuré avec la diffusion de l'onde sur de petites particules, telles que des impuretés. Dans l'expérience, la dépendance du décalage de fréquence Doppler Δf , de la vitesse d'écoulement v , et de l'angle Doppler α est étudiée pour différentes fréquences fondamentales f_0 (selon la puissance de la pompe, la fréquence de la sonde et de l'angle d'incidence). La relation suivante s'applique, présentée sous forme simplifiée: $\Delta f \sim f_0 v \cos(\alpha)$.



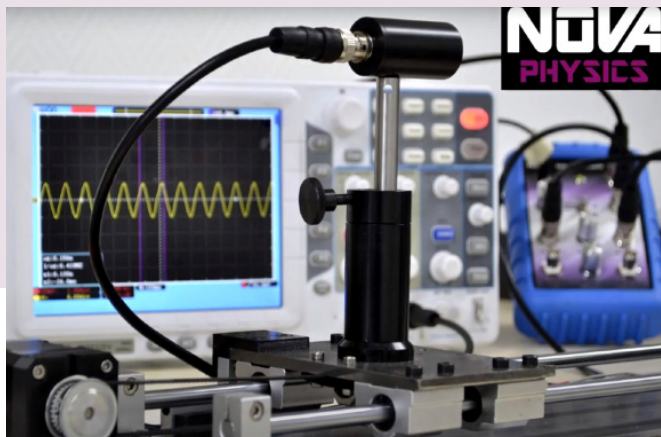
PRINCIPE DE L'ECHOGRAPHIE DOPPLER ET MESURE DE POULS (AVEC OPTION WMG577)

En échographie Doppler, le signal de diffusion ultrasonore des particules en mouvement (ici les cellules sanguines) est détecté et évalué. En raison du mouvement des cellules sanguines par rapport à la sonde à ultrasons, le signal a un décalage de fréquence et peut ainsi être bien séparé des signaux des parois vasculaires plus ou moins stationnaires et des surfaces limites des organes. Le décalage de fréquence dépend ici, entre autres, de la direction du flux sanguin et de sa vitesse. Le logiciel retrace la progression chronologique de la mesure (temps, axe x), l'intensité de diffusion (amplitude du signal, couleur) en fonction de la taille du décalage de fréquence (vitesse, axe y) et permet de montrer les paramètres qui peuvent influencer sur l'amplitude de diffusion (nombre, taille, type de particules de sang), la direction du flux (vers la sonde, loin de la sonde) et la vitesse des diffuseurs.

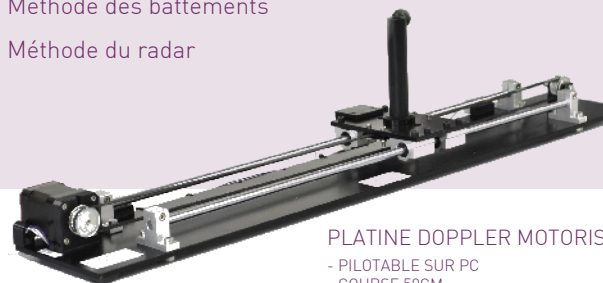


TP CLÉS EN MAIN	REF	PRIX TTC
<p>TP Vélocimétrie Doppler en Ultrasons MHz</p> <p>1 Générateur d'impulsions Doppler avec logiciel complet d'analyse 1 Transducteur émetteur/récepteur US 1MHz 1 Transducteur émetteur/récepteur US 2MHz 1 Transducteur émetteur/récepteur US 4MHz 1 Générateur de flux par pompe centrifugeuse réglable 1 Ensemble de tuyaux et tubes pour montage de Bernoulli Accessoires, prismes doppler, fluide Doppler, gel acoustique</p>	TPW501	7500 €
ACCESSOIRES AU DÉTAIL OU OPTIONS COMPLÉMENTAIRES	REF	PRIX TTC
Générateur d'impulsions Doppler, avec logiciel complet	WMG500	4380 €
Modèle de bras pour étude de l'échographie Doppler, avec flacon de fluide Doppler	WMG577	690 €
Liquide Doppler avec particules diffusantes de taille adaptée à la fréquence ultrasonore, 1L	WMG511	39 €
Générateur de flux continus ou impulsionnels, pompe réglable avec 8 modes et affichage du débit	WMG513	930 €
Tuyauterie, prismes Doppler et accessoires pour montage	WMG521	720 €
Sonde à impulsions haute intensité, fréquence 1MHz	WMG411	600 €
Sonde à impulsions haute intensité, fréquence 2MHz	WMG412	600 €
Sonde à impulsions haute intensité, fréquence 4MHz	WMG414	600 €
Table graduée de mesure de pression à 4 capillaires	WMG515	300 €

EFFET DOPPLER

**Détermination d'une vitesse par effet Doppler**

- Méthode directe : décalage jusqu'à 50Hz
- Méthode des battements
- Méthode du radar



PLATINE DOPPLER MOTORISÉE

- PILOTABLE SUR PC
- COURSE 50CM
- VITESSE JUSQU'À 40CM/S
- FIN DE COURSE MAGNÉTIQUE
- FIXATION AISÉE
- GRANDE STABILITÉ

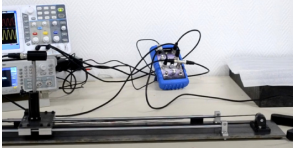

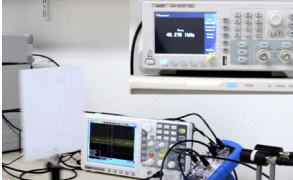
Ref. OBM440 570 €

MESURE DIRECTE D'UN DÉCALAGE DOPPLER (TPW251-TPW253)

L'émetteur est placé sur la platine mobile, le récepteur est fixe et relié au fréquencemètre qui mesurera en temps réel la fréquence du signal reçu. On observe et mesure le décalage de fréquence proportionnel à la vitesse de translation de l'émetteur.

MESURE INDIRECTE D'UN DÉCALAGE DOPPLER (TPW252-TPW253)

L'émetteur est placé sur la platine mobile, le récepteur est fixe. Les signaux d'émission et de réception sont envoyés sur un oscilloscope. Dans un premier temps, on utilise la fonction "maths" de l'oscilloscope pour additionner les 2 signaux et mesurer la période du battement obtenu. Enfin, un module comparateur de phase peut être utilisé, celui-ci comprend un multiplicateur et un filtre passe bas de fréquence de coupure adaptée, et permet de mesurer les faibles vitesses.

TP CLÉS EN MAIN	REF	PRIX TTC
 <p>TP Mesure directe d'un décalage Doppler en ultrasons</p> <p>1 émetteur + 1 récepteur US 40kHz à sortie BNC, sur tige 1 console de pilotage US polyvalente : continu, salves, amplification 1 pied d'optique en V 1 platine Doppler motorisée à vitesse réglable jusqu'à 40cm/s 1 GBF Fréquencemètre 10MHz, avec mesure de fréquence à 1Hz près Logiciel, connectique et manuel d'utilisation</p>	TPW251	1140 €
 <p>TP Mesure d'une vitesse par multiplication d'ondes</p> <p>1 émetteur + 1 récepteur US 40kHz à sortie BNC, sur tige 1 console de pilotage US polyvalente : continu, salves, amplification 1 boîtier multiplicateur de signaux 1 pied d'optique en V 1 platine Doppler motorisée à vitesse réglable jusqu'à 40cm/s 1 oscilloscope 2 voies 30MHz, écran couleur TFT 8" Logiciel, connectique et manuel d'utilisation</p>	TPW252	1185 €
 <p>TP Principe du Radar par effet Doppler, avec instrumentation complète</p> <p>1 émetteur + 1 récepteur US 40kHz à sortie BNC, sur tige 1 console de pilotage US polyvalente : continu, salves, amplification 1 boîtier multiplicateur de signaux 1 écran métallique 1 support double avec système d'écartement réglable 1 pied d'optique en V 1 platine Doppler motorisée à vitesse réglable jusqu'à 40cm/s 1 oscilloscope 2 voies 30MHz, écran couleur TFT 8" 1 GBF Fréquencemètre 10MHz, avec mesure de fréquence à 1Hz près 1 alimentation CC +15V/-15V - 0.5A Logiciel, connectique et manuel d'utilisation</p>	TPW253	1800 €
ACCESSOIRES AU DÉTAIL OU OPTIONS COMPLÉMENTAIRES	REF	PRIX TTC
Support double avec système d'écartement réglable	OSH280	99 €
Emetteur ultrasons 40kHz, BNC, sur tige	WMU100	111 €
Boîtier multiplicateur de signaux pour étude de l'effet Doppler	WMU042	90 €
Platine Doppler motorisée, course 50cm, vitesse jusqu'à 40cm/s, avec logiciel de pilotage	OBM440	570 €
Console polyvalente de pilotage et d'amplification pour US 40kHz, entrées et sorties BNC	WMU050	198 €
Oscilloscope 2 voies 30MHz, écran couleur TFT 8"	EIO503	315 €
Générateur Basse Fréquence 10MHz, écran couleur TFT 4", avec option Fréquencemètre précision 1Hz	EIG112F	345 €

MODULATION ACOUSTO-OPTIQUE

Déflexion et modulation acousto-optique

L'effet acousto-optique concerne l'interaction entre une onde ultrasonore et une onde optique dans un milieu solide ou liquide.

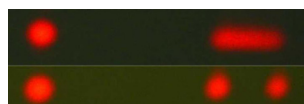
L'onde acoustique provoque la propagation d'une déformation et par suite une variation de l'indice de réfraction dans le milieu.

La variation d'indice de réfraction présente une périodicité spatiale et temporelle. Le réseau d'indice se déplace parallèlement à lui-même à la vitesse de l'onde acoustique.

Comme cette vitesse est très inférieure à celle de la lumière, l'onde acoustique peut être considérée comme stationnaire et le réseau fixe vis à vis du faisceau lumineux.

NOTIONS ABORDÉES ET EXPERIENCES RÉALISABLES :

- Cellule de Bragg
- Etude des faisceaux diffractés en fonction de la fréquence de l'onde acoustique
- Détermination de l'angle de diffraction de Bragg
- Calcul du pas du réseau et du temps d'accès
- Evaluation de la vitesse de l'onde acoustique dans le mat
- Mesure de l'intensité de diffraction en fonction de la puissance
- Calcul du rendement de diffraction et de l'absorption du faisceau
- Etude de la modulation acousto-optique
- Application à l'inscription et au transport d'un signal audio
- Déflecteur acousto-optique : application à la projection et à la modulation



EXPÉRIENCES SUR LA MODULATION ACOUSTO-OPTIQUE	REF	PRIX TTC
<p>TP Etude et application de l'effet et de la modulation acousto-optique</p> <p>Banc prismatique 120cm 2 Cavaliers prismatique simple L60mm Cavalier prismatique à réglage angulaire de précision Cavalier prismatique à réglage latéral (X) rapide +/-30mm Laser He-Ne 632,8 nm polarisé / 0,5-0,8 mW avec alimentation type Laboratoire Support à réglage d'orientation x-y pour objets cylindriques dia20 à 40mm Polariseur en monture graduée Modulateur / Déflecteur acousto-optique (cellule de Bragg) Alimentation de commande cellule acousto-optique Plateau porte-objets avec réglage x-y avec réglage d'horizontalité Détecteur amplifié à gain réglable Câbles spécifiques : SMB-3 sorties (Jack, Bananes, BNC) + BNC-Jack/M Ecran métallique blanc et quadrille 20x20 Capteur CCD/CMOS numérique + filtres OD1, OD3, polariseur + logiciel Poste Radio + Paire de Haut parleur Fascicule d'expériences et résultats</p>	TPO661	7500 €
ACCESSOIRES	REF	PRIX TTC
Modulateur/Déflecteur Acousto-Optique : Cellule de Bragg avec alimentation de commande	PMA661	4500 €
Générateur Basse Fréquence OWON 10MHz	EIG112	297 €
Multimètre 3 en 1, OWON, 6kpoints	EIM250	69 €
Oscilloscope couleur 2 voies 70MHz, écran couleur LCD 8"	EIO707	390 €
Kit Signal Sonore : Source audio portable + casque ou enceintes audio	PHS612	90 €

RÉSEAU ACOUSTIQUE EN ULTRASONS

Création d'un réseau acoustique dans un fluide avec des ultrasons Hautes Fréquences

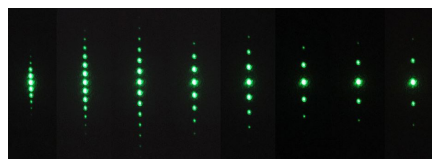
- Générateur performant et puissant
- Sondes multifréquences allant de 1 à 13MHz
- Matériel répondant à toutes les normes de sécurité
- Polyvalence du matériel : nombreuses expériences possibles
- Sondes hermétiques à l'eau
- Nombreux accessoires proposés autour du système
- Grande simplicité de mise en oeuvre
- Grande qualité de résultats, quantifiables



Retrouvez ce matériel et ces expériences en vidéo sur notre chaîne YouTube ou sur notre site WEB

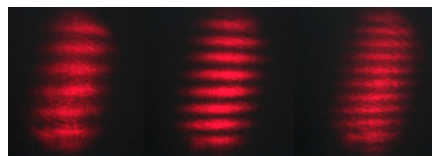


Création d'un réseau de diffraction à pas variable grâce à la sonde ultrasonore multifréquences pouvant émettre de 1 à 13 Mhz



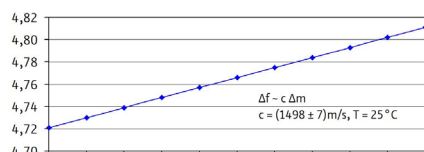
EFFET DEBYE-SEARS, LUCAS-BIQUARD, BRAGG

Un liquide peut se comporter comme un réseau de diffraction lorsqu'il est soumis à des vibrations de hautes fréquences. En se servant de cette propriété, on peut notamment mesurer, de façon très précise, la vitesse du son dans le liquide choisi en faisant traverser un laser à travers celui-ci.



PROJECTION DES ONDES STATIONNAIRES DANS UN LIQUIDE

En éclairant, avec un laser expansé, la cuve du fluide soumis aux vibrations ultrasonores, on peut visualiser les ondes stationnaires grâce aux différences de pression qui sont produites dans le liquide, créant des différences de densité et une modulation acoustique de la lumière. La mesure de l'interfrange obtenu indique la longueur d'onde des ultrasons.



MODULATION ACOUSTO-OPTIQUE D'ONDES PROGRESSIVES ET STATIONNAIRES

Lorsqu'un réseau de diffraction acoustique est généré par une onde progressive, il existe un décalage de fréquence entre les différents ordres du réseau. Cet effet est utilisé dans les AOMs (Modulateurs Acousto-Optique). Avec une photodiode et un oscilloscope on peut mesurer le décalage et alors étudier les différents paramètres agissant sur la modulation.

RÉSEAU ACOUSTIQUE EN ULTRASONS	REF	PRIX TTC
Ensemble complet Réseau Acoustique Générateur Ondes Continues Sonde multifréquences 1-13MHz 1 enceinte à liquide avec plateforme d'accueil 1 module laser rouge 1 module laser vert	WMG290	3690 €
ELEMENTS AU DÉTAIL	REF	PRIX TTC
Générateur continu d'ondes ultrasonores MHz	WMG200	2550 €
Sonde ultrason multifréquences 1-13MHz	WMG210	600 €
Enceinte à liquide avec plateforme d'accueil	WMG225	450 €
Module laser rouge 650nm	OLR111	75 €
Module laser vert 532nm	OLR211	168 €
Module laser bleu 450nm	OLR311	240 €

EXPÉRIENCES AVANCÉES EN MICRO-ONDES

En propagation libre

Ces expériences, en plus de montrer les phénomènes liés au caractère ondulatoire des ondes électromagnétiques, permettent d'illustrer et de mesurer facilement certaines propriétés difficiles à visualiser dans les autres gammes de fréquences.

En effet, la longueur d'onde étant de l'ordre de quelques cm, la plupart des expériences d'interférences en micro-ondes requièrent moins de précision et de réglage qu'avec les ondes lumineuses.

En outre, il est même possible d'illustrer certains phénomènes quantiques comme l'effet tunnel.

ONDES EVANESCENTES ET EFFET TUNNEL (TPW914) :

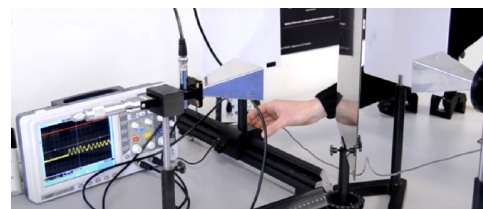
On utilise un prisme en paraffine pour changer l'indice du milieu de propagation des micro-ondes. Le prisme est orienté de façon à ce que les rayons incidents arrivent selon l'angle de réflexion totale du prisme. Le signal en sortie de celui-ci est alors nul. Toutefois, quand on approche un second prisme identique en opposition avec une distance de l'ordre de la longueur d'onde, le signal est de nouveau transmis grâce aux ondes évanescentes.

Ce phénomène de réflexion totale frustrée s'apparente à l'effet tunnel.



INTERFÉROMÈTRE DE MICHELSON EN MICRO-ONDES (TPW915/TPW916) :

Pour que des ondes de fréquence identique puissent interférer, il faut que le déphasage entre ces ondes soit constant, c'est-à-dire qu'elles soient cohérentes. L'interféromètre de Michelson permet de faire la superposition de deux ondes qui se déplacent dans la même direction après avoir parcouru des chemins différents. Une plaque semi-réfléchissante aux micro-ondes partage le faisceau incident en une partie réfléchie et une partie transmise. Ces deux faisceaux sont réfléchis par des écrans métalliques qui font office de miroir et qui sont placés sur des bancs gradués afin de pouvoir maîtriser et mesurer la variation de trajet. Si la différence de trajet entre les deux ondes est égale à multiple de la longueur d'onde, alors il y aura interférence constructive et le récepteur enregistrera un maximum.

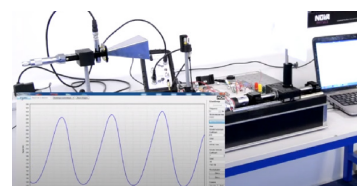


ÉTUDE D'UNE CAVITÉ D'ONDES STATIONNAIRES (TPW916) :

Avec l'émetteur Gunn à cavité variable, il est possible de varier la fréquence d'émission de 8 à 12 GHz et donc de modifier la longueur d'onde des ondes stationnaires.

Pour cette étude, le récepteur à cornet ne convient pas car il moyenne le signal et sera un élément perturbateur lorsque placé au cœur d'une cavité micro-ondes. On utilise alors une antenne ponctuelle.

On ferme la cavité micro-ondes à l'aide d'un écran métallique. On place ensuite l'antenne sur la platine motorisée. L'interface NovaControl permet de piloter la platine et d'enregistrer directement le signal de l'antenne en fonction de la position de celle-ci, et de repérer précisément les noeuds et les ventres.



EXPERIENCES CLÉS EN MAIN	REF	PRIX TTC
<p>TP Etude du phénomène d'ondes évanescentes en Micro-ondes</p> <ul style="list-style-type: none"> Émetteur Diode Gunn 8-12 GHz avec cornet métallique et cavité accordable par vernier micrométrique Récepteur Diode Schottky avec cornet métallique orientable et gradué sur 360° Interface de pilotage avec mode émission continue et mode émission modulée par un créneau 2 prisme en paraffine grand modèle hauteur 20cm, avec plateaux support 1 banc prismatique aluminium plein, de longueur 120cm, gradué au mm 4 cavaliers prismatiques coulissants et 1 pied d'optique en V 1 oscilloscope numérique 2 voies 30MHz minimum Accessoires et connectique nécessaire au bon fonctionnement des expériences 	TPW914	1980 €
<p>TP Interféromètre de Michelson et Miroir de Lloyd en Micro-ondes, avec bancs prismatiques</p> <ul style="list-style-type: none"> Émetteur Diode Gunn 8-12 GHz avec cornet métallique et cavité accordable par vernier micrométrique Récepteur Diode Schottky avec cornet métallique orientable et gradué sur 360° Interface de pilotage avec mode émission continue et mode émission modulée par un créneau 2 écrans métalliques + 1 écran semi-transparent pour réalisation d'un interféromètre de Michelson Bancs prismatiques aluminium plein, de longueur 60cm+60cm, gradués au mm Accouplement goniométrique gradué sur 360° avec index et colonne support pour tige dia.10mm 2 cavaliers prismatiques coulissants et 2 pieds d'optique en V 1 oscilloscope numérique 2 voies 30MHz minimum Accessoires et connectique nécessaire au bon fonctionnement des expériences 	TPW915	1890 €
<p>TP Interféromètre et cavité d'ondes stationnaires en Micro-ondes, sur PC, avec plateforme pilotable</p> <ul style="list-style-type: none"> Émetteur Diode Gunn 8-12 GHz avec cornet métallique et cavité accordable par vernier micrométrique Récepteur Diode Schottky avec cornet métallique orientable et gradué sur 360° Sonde Antenne Schottky sans cornet, pour analyse ponctuelle du niveau d'onde Interface de pilotage avec mode émission continue et mode émission modulée par un créneau 2 écrans métalliques + 1 écran semi-transparent pour réalisation d'un interféromètre de Michelson 4 pieds d'optique en V dont un avec réglage latéral 1 plateforme de translation pilotable par ordinateur avec acquisition et synchronisation du signal Logiciel d'acquisition du signal de l'antenne en fonction de sa position dans la cavité Accessoires et connectique nécessaire au bon fonctionnement des expériences 	TPW916	1800 €

ONDES CENTIMÉTRIQUES

Vérification des propriétés des ondes électromagnétiques

Alors que les longueurs d'ondes de la lumière visible se situent autour de $0,5 \mu\text{m}$, celles des micro-ondes sont de l'ordre de quelques centimètres (domaine des hyperfréquences).

Ces ondes centimétriques obéissent à la même théorie de Maxwell que les ondes visibles et donnent lieu aux mêmes phénomènes physiques.

En particulier, dans l'air, les ondes hertziennes peuvent être dirigées, focalisées, réfractées, polarisées, etc.

EXPÉRIENCES RÉALISABLES :

- Fonctionnement et caractérisation d'une diode Gunn (TPW911/912)
- Propagation des micro-ondes dans l'air (TPW911/912)
- Transmission et absorption des micro-ondes (TPW911/912)
- Polarisation d'une diode réceptrice (Schottky) (TPW911/912)
- Vérification expérimentale de la loi de Malus (TPW911/912)
- Loi du rayonnement en carré inverse (TPW912)
- Réflexion, Réfraction des micro-ondes (TPW912)
- Détermination de l'indice de la paraffine (TPW912)
- Diffraction par une fente (TPW912)
- Interférences par des fentes d'Young (TPW912)



EXPERIENCES CLÉS EN MAIN	REF	PRIX TTC
<p>TP Introduction aux Ondes centimétriques : Propagation, Polarisation, Réflexion, Absorption</p> <ul style="list-style-type: none"> • Émetteur Diode Gunn 8-12 GHz avec cornet métallique et cavité accordable par vernier micrométrique • Récepteur Diode Schottky avec cornet métallique • Interface de pilotage avec mode émission continue et mode émission modulée par un créneau • Accessoires : 1 écran métallique, 1 grille métallique, 1 support porte-écrans • 3 pieds d'optique en V • 1 oscilloscope numérique 2 voies 30MHz minimum • Câbles BNC et connectique nécessaire au bon fonctionnement des expériences 	TPW911	1390 €
<p>TP Etude complète des Micro-Ondes sur bancs goniométriques : Réfraction, Diffraction, Interférences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Émetteur Diode Gunn 8-12 GHz avec cornet métallique et cavité accordable par vernier micrométrique • Récepteur Diode Schottky avec cornet métallique orientable et gradué sur 360° • Sonde Antenne Schottky sans cornet, pour analyse ponctuelle du niveau d'onde • Interface de pilotage avec mode émission continue et mode émission modulée par un créneau • 1 fente simple pour la diffraction, 1 bi-fente pour les interférences, 1 grille pour la polarisation • 2 écrans métalliques + 1 écran semi-transparent pour réalisation d'un interféromètre de Michelson • 1 prisme en paraffine petit modèle pour étude de la réfraction, avec son plateau support • Bancs prismatiques aluminium plein, de longueur 60cm+120cm, gradués au mm • Accouplement goniométrique gradué sur 360° avec index et colonne support pour tige dia.10mm • 2 cavaliers prismatiques coulissants • 2 pieds d'optique en V • 1 oscilloscope numérique 2 voies 30MHz minimum • Câbles BNC et connectique nécessaire au bon fonctionnement des expériences 	TPW912	1980 €
ELEMENTS AU DÉTAIL	REF	PRIX TTC
Antenne Schottky sans cornet, pour analyse ponctuelle du niveau d'onde en ondes stationnaires	WEC025	150 €
Récepteur Schottky avec cornet orientable sur 360° avec graduation de l'angle au degré	WEC020	300 €
Émetteur Diode Gunn à fréquence variable 8-12 GHz, cornet métallique et cavité accordable par vernier	WEC015	480 €
Console de pilotage Micro-Ondes, émission continue ou modulée créneau + amplification	WEC050	300 €
Platine motorisée pour relevé des ondes stationnaires, avec interface et logiciel d'acquisition	WEC083	600 €
Ecran semi-réfléchissant aux micro-ondes, avec support sur tige	WEC065	90 €
Prisme en paraffine petit modèle pour étude de la réfraction, avec son plateau support	WEC061	60 €
Prisme en paraffine grand modèle hauteur environ 20cm pour effet tunnel et réflexion totale	WEC062	120 €
Lentille en paraffine grand modèle hauteur environ 20cm, convergente avec support	WEC069	120 €
Ecran Fente unique, métallique, sur tige dia.10mm pour étude diffraction	WEC071	39 €
Ecran Bi-fente, métallique, sur tige dia.10mm pour étude interférences	WEC072	39 €
Ecran Grille métallique, sur tige dia.10mm pour étude polarisation	WEC073	39 €
Oscilloscope 2 voies 30MHz, écran couleur TFT 8"	EIO503	315 €

MICRO-ONDES GUIDÉS

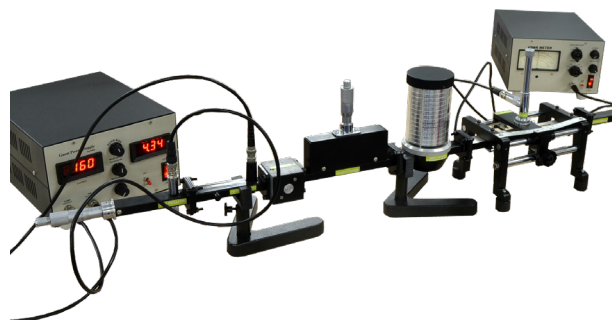
Banc Hyperfréquences (bande X - 10 GHz)

Il existe plusieurs sortes d'émetteurs et de détecteurs suivant le domaine d'application.
- Nous utilisons dans nos kits une diode Gunn qui est un émetteur de faible puissance (10mW).

Plusieurs types de guides d'ondes peuvent transporter l'énergie (lignes coaxiales, microrubans, guides métalliques creux).
- Nous proposons principalement des guides métalliques rectangulaires creux qui peuvent propager divers modes. Aux fréquences de l'ordre de 10 GHz, ces guides ont des pertes (par absorption du diélectrique et effet Joule dans les conducteurs) beaucoup plus faibles que les lignes coaxiales.

EXPÉRIENCES RÉALISABLES EN HYPERFREQUENCES :

- **Etude d'une cavité résonnante hyperfréquence (TPW776-TPW777)**
 - Modes de propagation TE et TM
 - Cavités en volume vide, ou remplies d'un diélectrique
 - Couplage critique, pulsation minimum, coefficient de qualité
 - Mesure de la constante diélectrique de liquides et solides
 - Mesure de déphasage en hyperfréquences
- **Multiplexage et Couplage directionnel (TPW777)**
 - Réalisation d'un circuit hyperfréquence
 - Couplage directionnel
 - Propagation par des transitions courbes ou spiralées



EXPERIENCES CLÉS EN MAIN	REF	PRIX TTC
<p>TP Etude d'une cavité résonnante vide ou diélectrique, en hyperfréquence</p> <p>Oscillateur Gunn accordable avec cavité de résonance Modulateur PIN pour diode Gunn + Isolateur anti-retour d'onde Interface d'alimentation et de modulation de la Diode Gunn et connectique BNC Sonde réceptrice Schottky avec coupleur BNC Guide d'onde à fente avec support de sonde translatable TOSmètre multicalibre avec double échelle (Exp et Linéaire), et ajustement fin du Gain Fréquencemètre à lecture directe par vernier hélicoïdal Atténuateur variable avec vernier micrométrique Variateur de phase avec vernier micrométrique Transitions fixes, mobiles, de fin de chaine, d'adaptation... Cavité cylindrique à volume vide ou pouvant accueillir des diélectrique Cellule diélectrique solide avec réflecteur réglable + cellule diélectrique liquide avec piston réglable Lot de solides diélectriques d'étude (Teflon, Nylon, Ebonite, Perspex, Paraffine...) Supports et pieds haute stabilité pour maintien des guides (x4)</p>	TPW776	6000 €
<p>TP Etude complète des hyperfréquence : guide d'onde, cavité résonnante, rayonnement, antennes....</p> <p>Oscillateur Gunn accordable avec cavité de résonance Modulateur PIN pour diode Gunn + Isolateur anti-retour d'onde Interface d'alimentation et de modulation de la Diode Gunn et connectique BNC Sonde réceptrice Schottky avec coupleur BNC Guide d'onde à fente avec support de sonde translatable TOSmètre multicalibre avec double échelle (Exp et Linéaire), et ajustement fin du Gain Fréquencemètre à lecture directe par vernier hélicoïdal Atténuateur variable avec vernier micrométrique Variateur de phase avec vernier micrométrique Transitions fixes, mobiles, de fin de chaine, d'adaptation... Paire de cornets à gain standard, pour propagation en air libre Antennes à fentes étroites et larges Coupleur en T pour champ E et pour champ H, coupleur triple en Y Coupleurs directionnels 10dB Transitions spiralée et courbes Détecteur guide d'onde, sortie BNC Atténuateur calibré 3 db + Atténuateur calibré 10 db Cavité cylindrique à volume vide ou pouvant accueillir des diélectrique Cellule diélectrique solide avec réflecteur réglable + cellule diélectrique liquide avec piston réglable Lot de solides diélectriques d'étude (Teflon, Nylon, Ebonite, Perspex, Paraffine...) Supports et pieds haute stabilité pour maintien des guides (x4) 2 rails de 60cm avec cavaliers coulissants pour maintien des guides (x4) Plateau tournant pouvant être couplés aux rails, pour mesure du diagramme de rayonnement Connectique nécessaire et mallettes de rangement</p>	TPW777	7980 €

HYPERFRÉQUENCES

Banc Hyperfréquences (bande X - 10 GHz)

Les hyperfréquences sont remarquables par le fait que leur d'onde permet de réaliser des émissions d'une très grande directivité à l'aide d'antennes de dimensions assez réduites. De ce fait, les équipements rayonnants sont moins sensibles aux parasites d'origines atmosphérique ou industrielle.

Généralement un système hyperfréquence utilisé en télécommunication est composé :

- un émetteur, qui génère l'énergie hyperfréquence nécessaire à la liaison,
- un câble de liaison qui sert au transport de l'énergie hyperfréquence produite par l'émetteur,
- une antenne qui va rayonner.

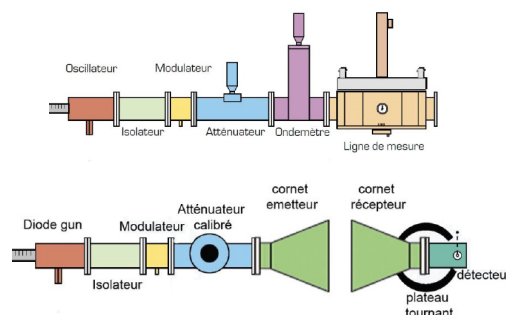
EXPÉRIENCES RÉALISABLES EN HYPERFREQUENCES :

• Propagation dans un guide d'ondes rectangulaire (TPW772-TPW776-TPW777)

- Modes de propagation TE et TM
- Coefficient de réflexion et impédance caractéristique
- Ondes stationnaires, Mesure de la longueur d'onde
- Taux d'ondes stationnaires
- Phase, vitesse de phase, vitesse de groupe

• Rayonnement d'un cornet, zone de rayonnement (TPW774-TPW777)

- Distribution de sources ponctuelles, zone de Fraunhofer
- Diffraction d'une onde par une ouverture équiphasée



EXPERIENCES CLÉS EN MAIN	REF	PRIX TTC
<p>TP Etude d'un guide d'onde Hyperfréquences</p> <p>Oscillateur Gunn accordable avec cavité de résonance Modulateur PIN pour diode Gunn Interface d'alimentation et de modulation de la Diode Gunn et connectique BNC Isolateur anti-retour d'onde Sonde réceptrice Schottky avec coupleur BNC Guide d'onde à fente avec support de sonde translatable TOSmètre multicalibre avec double échelle (Exp et Linéaire), et ajustement fin du Gain Fréquencemètre à lecture directe par vernier hélicoïdal Atténuateur variable avec vernier micrométrique Transition fixe simple Transition mobile Transition de fin de chaîne Supports et pieds haute stabilité pour maintien des guides (x4)</p>	TPW772	4500 €
<p>TP Etude du rayonnement d'une antenne</p> <p>Oscillateur Gunn avec cavité de résonance Modulateur PIN pour diode Gunn Interface d'alimentation et de modulation de la Diode Gunn et connectique BNC Isolateur anti-retour d'onde TOSmètre multicalibre avec double échelle (Exp et Linéaire), et ajustement fin du Gain Paire de cornets à gain standard, pour propagation en air libre Détecteur guide d'onde, sortie BNC Atténuateur calibré 3 db + Atténuateur calibré 10 db Transition fixe simple Transition mobile Transition de fin de chaîne 2 rails de 60cm avec cavaliers coulissants pour maintien des guides (x4) Plateau tournant pouvant être couplés aux rails, pour mesure du diagramme de rayonnement</p>	TPW774	4800 €
ELEMENTS AU DÉTAIL	REF	PRIX TTC
Sonde Schottky ponctuelle pour banc HFI avec guide d'onde à fente et support de translation	WEC725	600 €
Détecteur Schottky avec guide d'onde pour banc HFI	WEC720	300 €
Émetteur Diode Gunn accordable pour banc HyperFréquence HFI	WEC715	690 €
Isolateur anti-retour d'onde pour guide d'onde HFI	WEC730	330 €
Modulateur PIN pour diode Gunn et guide d'onde HFI	WEC731	330 €
Atténuateur variable 0-20db pour guide d'onde HFI	WEC732	300 €
Fréquencemètre à lecture directe par vernier hélicoïdal pour guide d'onde HFI	WEC740	600 €
Paire d'antenne cornets pour émetteur et détecteur HFI, gain 16dB	WEC744	390 €
Système de rails et plateau tournant pour diagramme de rayonnement, avec supports coulissants	WEC750	480 €

ONDES MECANIQUES : CUVES À ONDES

Ondes très basses fréquences

Niveau Lycée

Les propriétés fondamentales des ondes sont identiques, qu'il s'agisse d'ondes d'eau, d'ondes sonores ou d'ondes électromagnétiques telles que la lumière. Ainsi, la cuve à ondes offre une bonne introduction à tous les types de propagation d'ondes et d'interférences.

Le générateur d'ondes se déplace soit de manière synchrone avec les flashes provenant du stroboscope, ce qui semble geler le mouvement des vagues - soit avec un petit décalage de fréquence, ce qui fait que le modèle d'onde se déplace comme s'il était au ralenti. Les modèles de vagues peuvent être observés sur le dessus de table, sur la plaque de verre dépoli fournie ou projetés sur le mur.

EXPÉRIENCES RÉALISABLES AVEC LA CUVE À ONDES :

- **Vérification de la relation $v = f \lambda$:**

En utilisant le plongeur linéaire, des ondes parallèles planes peuvent être produites. On varie la fréquence d'excitation et on mesure la distance entre 2 crêtes d'onde pour calculer la vitesse de propagation de l'onde.

- **Réflexion et réfraction :**

En utilisant le plongeur linéaire, des ondes parallèles planes peuvent être produites. La réflexion et la réfraction des ondes peuvent être démontrées en utilisant des obstacles appropriés dans la cuve d'eau.

- **Interférences par 2 sources ponctuelles :**

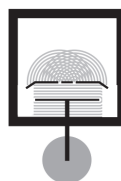
Des interférences se produisent lorsque deux plongeurs à source ponctuelle génèrent des ondes circulaires. La distance entre les sources et leur fréquence peut être réglée.

- **Interférences par les fentes d'Young :**

Lorsqu'une onde plane rencontre une barrière à deux fentes, ceux-ci agissent comme deux nouvelles sources ponctuelles, donnant lieu au même schéma d'interférence.

- **Influence de la hauteur d'eau :**

Toujours en excitation d'ondes parallèles planes, on rajoute un bloc de quelques millimètres sur une partie de la cuve pour diminuer



EXPÉRIENCES CLÉS EN MAIN	REF	PRIX TTC
<p>TP Introduction aux ondes mécanique avec cuve ondes EasyKit</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cuve à assembler avec miroir de projection et écran de visualisation • Générateur d'ondes à fréquence réglable (1-60 Hz) avec afficheur • Stroboscope à LED 3 W sur flexible avec alimentation : 12V / 1 A continu • Ecran de visualisation : 333x320 mm • 1 jeu de 3 excitateurs (onde simple, onde double, et onde plane) • 1 jeu de 7 accessoires (trapézoïde, biconcave, biconvexe, faces parallèles) 	TPW223	480 €
<p>TP Etude des ondes dans l'eau avec cuve à ondes FK</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cuve en métal et plexiglass sur pieds en acier : 314x363x30mm • Miroir, dépoli et structure de projection • Vibreur électromécanique • Générateur TBF 0-100Hz synchronisable avec stroboscope et vibreur • Stroboscope synchronisable à LED • Accessoires et embouts pour génération de vagues • Accessoires pour étude de la réflexion et réfraction • Accessoires pour étude des interférences 	TPW222	795 €
ACCESSOIRES ET ELEMENTS AU DETAIL	REF	PRIX TTC
Cuve à ondes seule, sans vibreur, sans stroboscope, en malette	WMV220	450 €
Générateur Basse Fréquence OWON 10MHz avec module d'amplification 10W	EIG112P	420 €
Vibreur électromécanique FK, avec embout 4mm adaptateur	WMV100	150 €
Système de génération de vagues, balancier + lot de plongeurs (simple, double, plan) pour vibreur FK	WMV108	75 €
Stroboscope LED FK, avec générateur TBF, 1 à 100Hz, synchronisable avec vibreur	WMV221	240 €

ONDES MECANIQUES : CANAL À VAGUES

Ondes à la surface de l'eau

Une vague est une déformation de la surface d'une masse d'eau. Comme toutes les ondes, les vagues peuvent se réfléchir, se diffracter et se réfracter.

Le canal à vagues Nova Physics permet d'étudier le comportement de vagues régulières périodiques ou irrégulières en conditions d'eau profonde, de vérifier certaines propriétés ondulatoires, d'étudier les différentes modélisations (Stokes, Euler, Airy...) et leurs limites sur le comportement des vagues en profondeur constante, lorsque la hauteur d'eau n'est plus suffisante ou lorsque l'onde est dite "solitaire". Il est également possible d'introduire quelques notions de mécanique des fluides, de viscosité, de dispersion, de déferlement et de dérive.

GÉNÉRATEUR DE VAGUES POLYVALENT :

Le moteur de couple 40Ncm et le système de translation du générateur de vagues est capable de délivrer des secousses de manière impulsionnelle ou continue :

- à des vitesses d'excitation jusqu'à 20cm/s
- à des fréquences d'oscillation jusqu'à 5Hz
- avec 3 niveaux d'amplitude de translation : 13-20-30mm

EXPÉRIENCES RÉALISABLES AVEC LE CANAL À VAGUES :

• Vague d'Airy, Onde solitaire

Utilisé en mode impulsionnel, le générateur de vagues va délivrer une oscillation excitatrice unique et former une vague unique qui se propagera et se déformera selon différents paramètres comme la hauteur d'eau. Avec une caméra rapide, il est facilement possible d'étudier pas à pas la propagation et l'évolution de la forme de cette vague.

• Vagues en résonance dans une cavité fermée

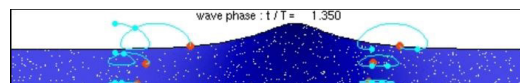
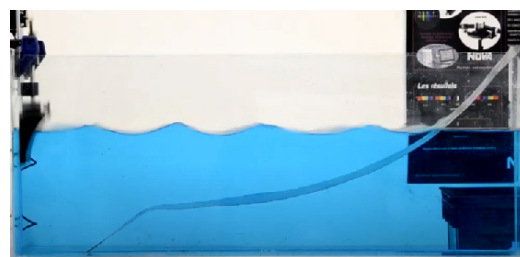
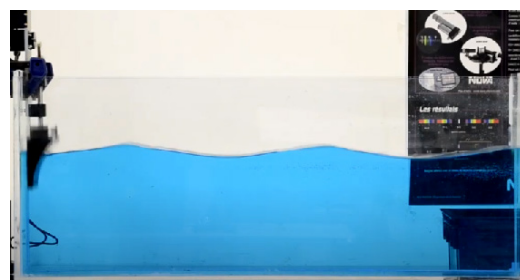
Le générateur est cette fois-ci utilisé en mode continu. A l'aide d'un GBF, vous pouvez modifier et ajuster précisément la fréquence d'oscillation de l'excitateur pour trouver celle qui provoque une résonance avec la masse d'eau contenue dans la cuve et former un système stationnaire de houle comme sur la photo du haut.

• Influence de la hauteur d'eau sur le comportement des vagues

A l'aide de plaques rigides ou souples, on modifie le profil du fond et donc la hauteur d'eau pour étudier son influence sur la fréquence, l'amplitude et la forme de la vague.

• Dispersion des vagues, dérive, mouvement des particules

Au passage d'une vague, les particules de fluide décrivent des ellipses presque fermées, dont la taille décroît avec la profondeur. Le fait que les ellipses ne soient pas fermées montrent l'existence d'une dérive qui peut être tracée en chronophotographie.



EXPÉRIENCES CLÉS EN MAIN	REF	PRIX TTC
<p>TP Ondes mécaniques dans un canal à vagues</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cuve à assembler en altuglass épaisseur 10mm, dimensions 100x15x30cm avec accessoires de montage • Générateur de vagues à fréquence pilotable par GBF, avec réglage d'amplitude et plongeur frontal • Système de fixation adapté par double serre-joint • Colorant de visualisation 	TPW800	750 €
<p>TP Complet sur l'étude des ondes dans un canal à vagues, avec instrumentation et accessoires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cuve à assembler en altuglass épaisseur 10mm, dimensions 100x15x30cm avec accessoires de montage • Plaque rigide en altuglass épaisseur 5mm pour variation linéaire du fond et de la hauteur d'eau • Plaque souple en aluminium épaisseur 0.5mm pour variation non linéaire du fond et de la hauteur d'eau • Générateur de vagues à fréquence pilotable par GBF, avec réglage d'amplitude et plongeur frontal • Plongeur à profil courbé pour excitation verticale • GBF 10MHz 2 voies avec écran TFT 4 pouces • Caméra rapide 2Mpixels - 260 images par seconde pour acquisition chronophotographique • Système de fixation adapté par double serre-joint • Lot de colorant + flotteurs + solution de particules de visualisation des courants et de la dérive 	TPW810	1500 €
ACCESSOIRES ET ELEMENTS AU DETAIL	REF	PRIX TTC
Cuve à assembler en altuglass ép. 10mm - Dimensions 100x15x30cm - Avec accessoires de montage	WMF124	300 €
Générateur Basse Fréquence OWON 10MHz	EIG112	297 €
Générateur de vagues polyvalent pilotable par GBF, mode continu et impulsionnel, plongeur frontal	WMF800	390 €
Lot de 2 plaques de long. 100cm de largeur proche de 15cm, 1 rigide, 1 souple, pour variation du fond	WMF102	60 €
Caméra rapide CMOS 2Mpixels Nova180, 260 images par seconde, pour chronophotographie	COC480	270 €