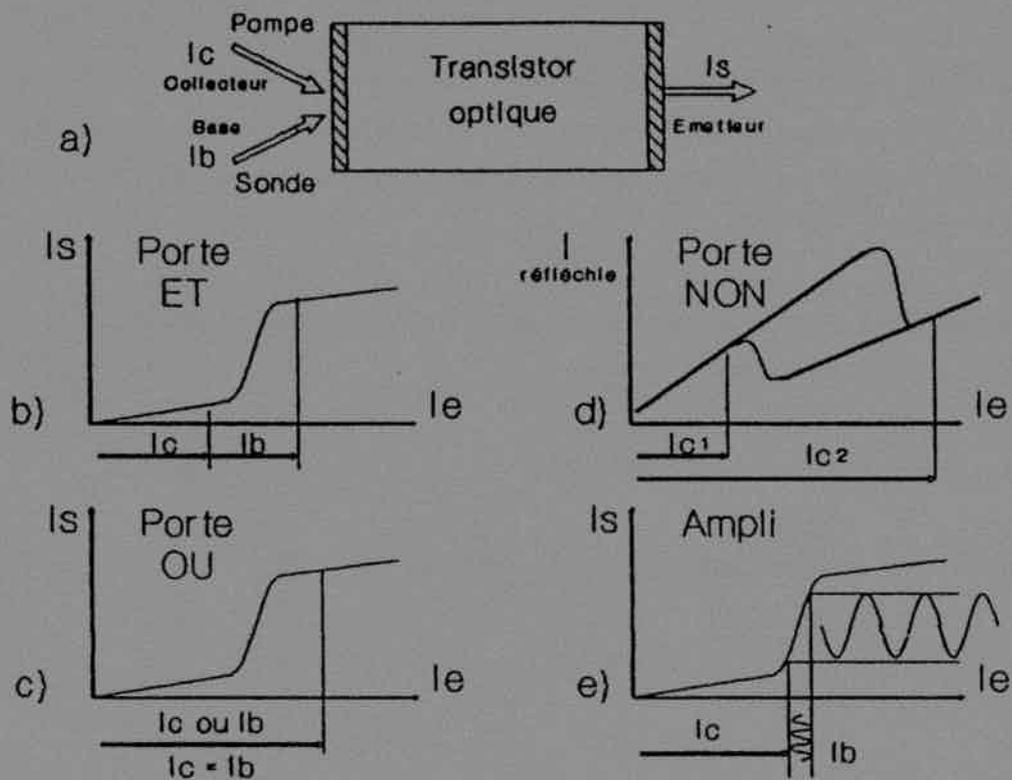


Société des Enseignants Neuchâtelois de Sciences



bulletin n° 11, déc. 1991

Une conférence, un livre, une réaction d'élève sont susceptibles d'intéresser d'autres collègues. Pourquoi de pas faire figurer cette information dans le bulletin ?

Edition: Société des enseignants neuchâtelois de sciences (SENS).

Comité de la SENS: Françoise Jeandroz (présidente), Andrée Boesch, Pierre-André Bolle (caissier), Christian Bazzoni (vice-président, délégué coll. informatique), Christian Berger, Gérard Gast, Jean-Pierre Launaz (secrétaire), Michel Favre (délégué coll. mathématique), Denis Sermet, Eric Vaucher (délégué coll. physique-chimie).

Equipe de rédaction du Bulletin: Jacques-André Calame, Michel Favre, François Jaquet, Françoise Jeandroz, Jacques Méry, Luc-Olivier Pochon.

A, en outre, collaboré à ce numéro: Philippe Bovay.

Contact: Michel Favre, rte de la Jonchère 13a, 2208 Les Hauts-Geneveys

Couverture: Illustration tirée de l'article de Philippe Bovay.

Délai pour transmettre vos contributions au prochain numéro: 1 mars 1991

technologie

La fin du XXème siècle sera-t-elle photonique ?

L'exemple de la ligne de télécommunication (suite)

Philippe Bovay, Ecole d'ingénieurs du Canton de Neuchâtel

5. VERS LE "TOUT OPTIQUE" ?

Nous avons présenté jusqu'ici l'état actuel des systèmes de télécommunication à fibre optique disponibles "clef en main". Bien que les débits soient déjà bien supérieurs à ceux des systèmes coaxiaux, la quantité de plus en plus grande de données à transmettre, les nouvelles technologies à haute densité (TV haute définition, vidéophone,...) la complexité croissante des réseaux urbains ou transatlantiques, poussent vers des débits encore plus élevés. Or l'électronique d'extrémité (émission et détection) est relativement lente puisque les plus hautes modulations atteintes sont 10^4 fois inférieures à la limite théorique permise par les fréquences optiques. Quelles sont alors les possibilités de reculer les frontières optoélectroniques vers l'optique ? Même si les réalisations ne sont pas toutes pour un futur proche, nous verrons que des capteurs basés sur les technologies proposées apparaissent déjà sur le marché.

5.1 La micro-optoélectronique intégrée (OEIC)

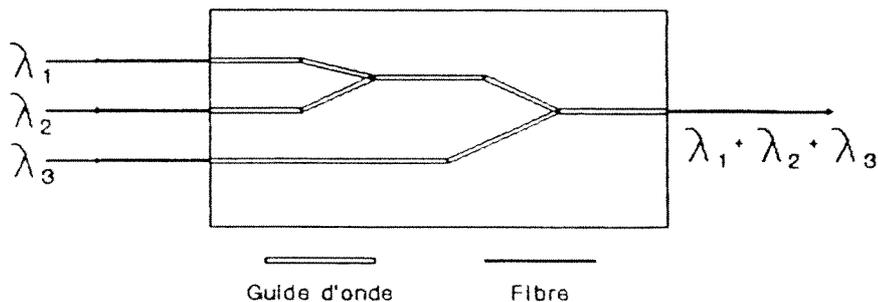
Afin d'éviter les effets parasites de connections augmentant les temps de commutation, la première idée est de chercher à tout intégrer sur le même substrat : source et circuit de commande, récepteur et circuit amplificateur, voire le démodulateur (OEIC = optic-electronic integrated circuit). La photodiode PIN-FET décrite sous pt 3.2 en est un représentant déjà bien implanté. Des sources laser à $0,85 \mu\text{m}$ intégrées avec son circuit de commande sur GaAs fonctionnent. Cependant de grands progrès pour trouver le substrat optimum, pour la longueur d'onde désirée, avec une consommation tolérable, sont encore attendus.

5.2 Les promesses de l'optique intégrée (OIC)

Au pt 3.2 nous avons indiqué qu'il était possible, par les technologies des circuits intégrés (gravure, lithographie, diffusion, épitaxie,...), de produire des canaux de lumière (guides d'onde) au sein ou à la surface de matériaux tels que le silicium, les verres borosilicates, le niobiate de lithium. La dimension de ces canaux est en effet de l'ordre de 2λ , donc de même ordre de grandeur que ceux de la microélectronique. Sur cette base, bien des composants passifs ou actifs sont réalisables. Trois exemples concrets montreront que des promesses sont déjà tenues ou le seront dans un avenir proche.

Coupleurs-dérivateurs passifs : Dans le but, par exemple, de mixer plusieurs longueurs d'onde dans une même voie optique, les coupleurs de la figure 4.2 peuvent être remplacés par les coupleurs OI de la figure 5.1 tant à l'entrée (coupleur) qu'à la sortie (dérivateur). Bien entendu, le couplage fibre OI montré dans cette figure est très schématique et il existe des dispositifs à efficacité de couplage optimum.

Fig.6.1. Principe d'un coupleur/dérivateur OI



Couplage des sources lumineuses et des détecteurs : La lumière produite par une source LD peut être injectée dans le guide d'onde de diverses façons :

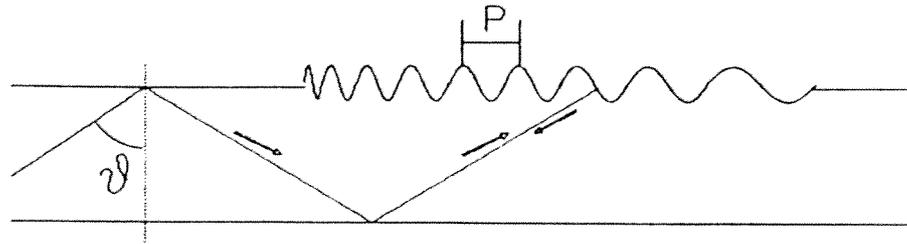
- surface émissive directement en contact avec le guide (Fig. 5.6);
- par couplage d'une fibre optique amorce;
- en intégrant directement la source LD sur la même puce que le circuit OI;
- en créant une structure diffractive en surface permettant le couplage (angle de Bragg) de la lumière dans le guide d'onde; la forme de réseau permet même d'obtenir une localisation de la lumière couplée (Fig. 5.7); notons que ces réseaux de surface sont extrêmement fins et sont obtenus par des techniques avancées : CGH (Computer Generated Hologram) + lithographie EB (Electron Beam Lithography)

La situation est symétrique pour les photodétecteurs (Fig. 5.6, 5.7 et 5.8). On obtient trois types de structures :

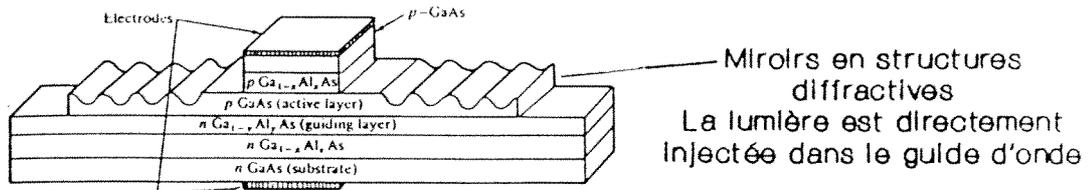
- structures hybrides : sources et détecteurs extérieurs à l'OIC;
- semi-hybrides : seul le détecteur est intégré à l'OIC (version actuellement la plus répandue);
- monolithiques : source et détecteur intégrés à l'OIC (encore des difficultés de choix du substrat commun et prix de fabrication élevé).

Miroirs : Les réseaux de surface indiqués ci-dessus peuvent servir de miroirs très sélectifs si la périodicité est constante, ou de largeur de bande désirée par une variation progressive de la périodicité (Fig.5.2)

Fig.5.2 Miroir sélectif en OI



a) La lumière de $\lambda = 2P \sin \vartheta$ est réfléchié par la structure diffractive de période P



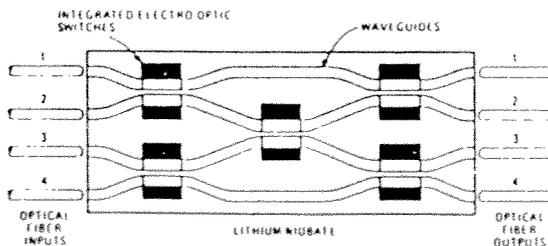
b) Diode laser en OI

Diode laser en optique intégrée utilisant des miroirs en structures diffractives plutôt que les faces clivées. La lumière est directement injectée dans le guide d'onde.

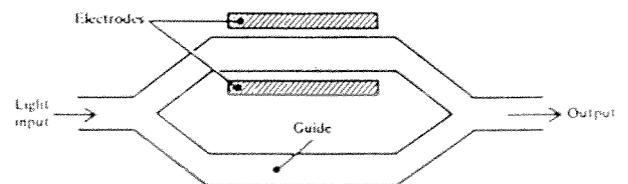
Lentilles : En variant le pas du réseau transversalement à la direction de propagation du faisceau, il est possible d'obtenir un effet de convergence de type Fresnel (Fig. 5.6). On peut également, par diffusion, faire varier graduellement l'indice de réfraction du guide pour obtenir une focalisation (lentilles GRIN de l'OI).

Aiguillages dynamiques : En dessinant deux canaux très proches l'un de l'autre, il est possible de transvaser partiellement ou totalement la lumière d'un guide à l'autre grâce aux propriétés électro-optiques de certains substrats (le LiNbO_3 est actuellement le plus courant). Le champ électrique créé par deux électrodes dévie le champ de l'onde optique (Fig.5.3.a)

Fig.5.3. Commutateurs et modulateurs électro-optiques



a) Commutateur OI



b) Modulateur Interférométrique OI

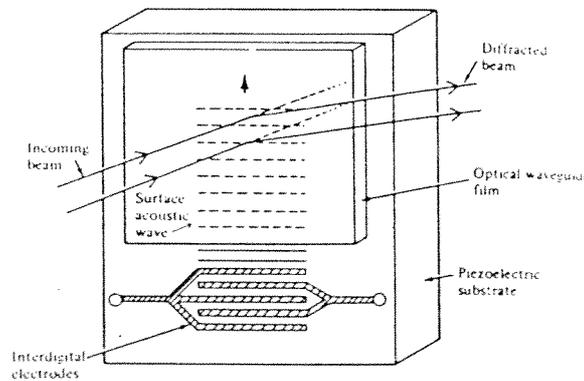
Modulation électro-optique : Plutôt que produire une modulation électronique en amont de la source, il est possible, par effet électro-optique, d'agir en aval directement sur le champ optique. Les électrodes de la figure 5.3.b produisent un déphasage entre les deux guides (effet Pockels). Si ce déphasage est de $\lambda/2$, la sortie est éteinte; on obtient une modulation binaire pour la transmission numérique.

Si les électrodes sont commandées par un signal analogique, on obtient une modulation de phase qui permet d'augmenter de plusieurs ordres de grandeur la capacité d'une voie de télécommunication. On verra ci-dessous comment démoduler optiquement un tel signal.

Notons que ce type de modulation est largement utilisé dans les capteurs OI (Exemple de la Fig.5.8). Le déphasage d'une des branches de l'interféromètre peut être également provoqué par de nombreux paramètres physiques (par exemple la concentration chimique pour les optodes). Un déphasage produit par une onde sonore fournirait un microphone sans aucun interface électronique.

Modulation acousto-optique : Il est possible de créer dynamiquement un réseau de diffraction en créant à la surface d'un substrat piézoélectrique (céramique) des ondes acoustiques déviant la lumière selon la condition de Bragg (Fig. 5.4). Le guide d'onde est un film mince déposé sur le piézo (guide planaire).

Fig.5.4. Modulateur acousto-optique Intégré (AOI)

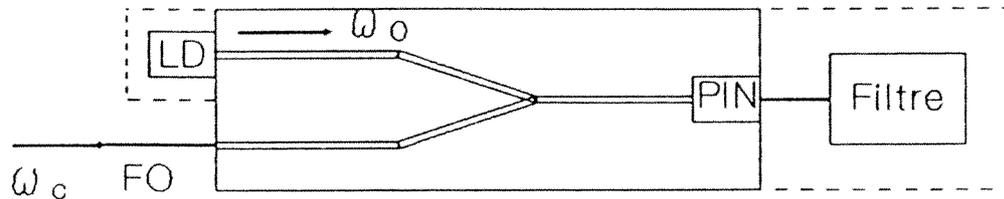


En modifiant soit la fréquence, soit l'intensité des ondes acoustiques, il est possible de changer respectivement la direction ou l'intensité de la lumière diffractée.

Comme tout réseau, une trame acousto-optique est dispersive et peut être utilisée comme démultiplexeur de longueurs d'onde. Un tel analyseur spectral est montré par la Fig.5.6.

Démodulation cohérente : Comme il a été dit ci-dessus, des modulations de phase à très grande bande passante peuvent être obtenues, le rapport S/N étant multiplié par un facteur 2 à 4. Les méthodes de démodulations cohérentes permettent de reconstruire le signal analogique initial (Fig.5.5)

Fig.5.5. Détection cohérente en OI



----- éventuellement même chip

$\omega_c \neq \omega_0$ détection hétérodyne

$\omega_c = \omega_0$ détection homodyne

Une diode laser (intégrée ou non) émet une pulsation ω_0 proche de ou égale à celle de la porteuse ω_c modulée en phase à la source et transportée par FO. On montre que le détecteur (PIN intégrée) fournit, après filtrage adéquat, un signal fonction de l'intensité et de la phase du signal mesuré. Avantages : la bande passante du détecteur peut être plus basse et des porteuses très proches en λ (raies spectrales d'une LD p.ex.) sont utilisables. Difficultés : la diode laser doit émettre une fréquence de stabilité d'au moins 10^{-9} (~ 200 KHz/200 THz à 1500nm) sur une raie très étroite ($\Delta\nu \sim 10$ KHz) et ω_0, ω_c devant être si possible de mêmes polarisations on devrait utiliser une FO à maintien de polarisation. Néanmoins, les premières lignes de télécommunication cohérentes sont envisagées pour la dernière décennie de ce siècle.

Exemples : Les figures ci-dessous montrent trois réalisations concrètes d'OIC publiées par la firme japonaise ANRITSU.

Fig.6.6. Analyseur de spectre OI (démultiplexeur)

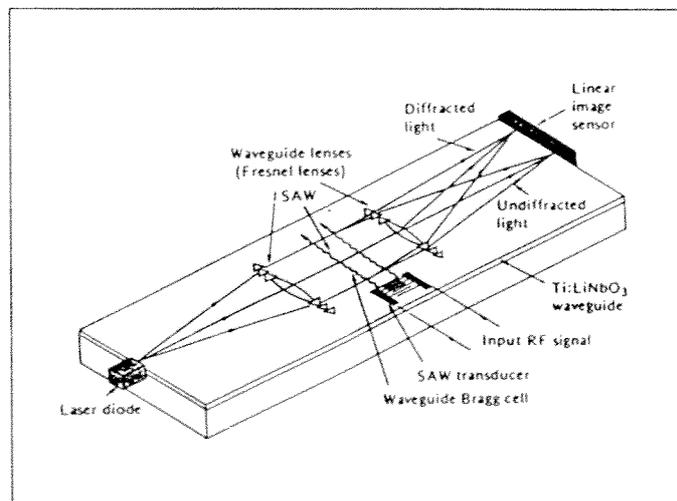


Fig.6.7. Tête de lecture OI pour disque compact réinscriptible (magnétooptique)

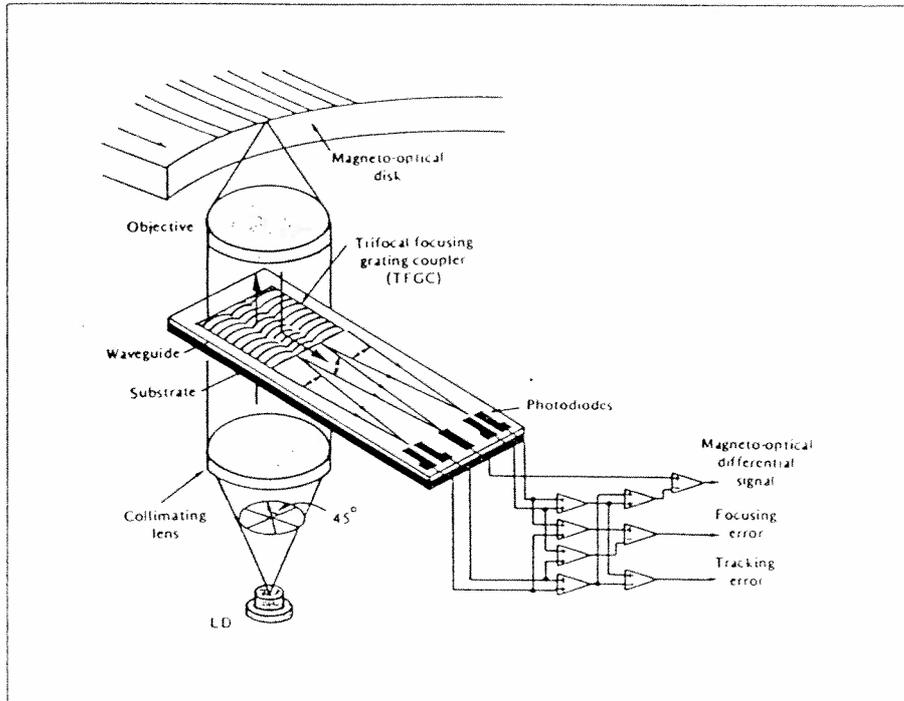
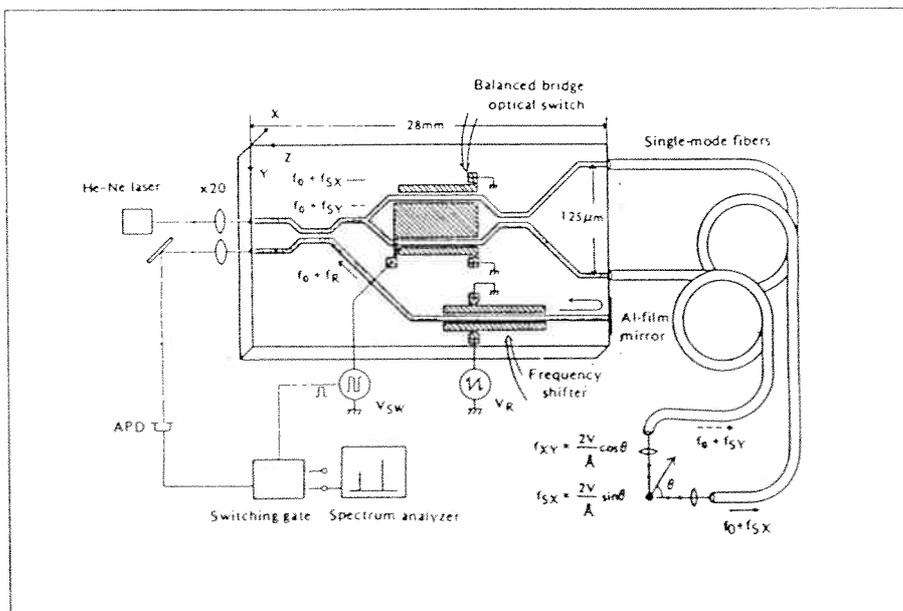


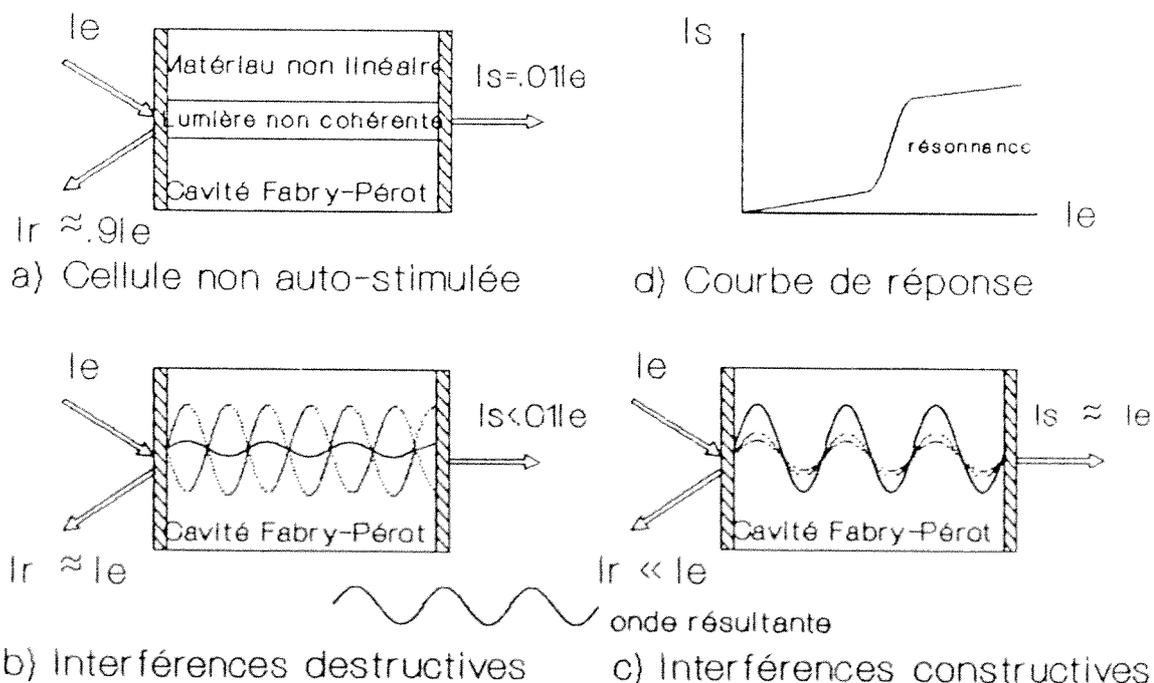
Fig.5.8. Vélovimètre 2-D Doppler à FO et OIC (détection cohérente hétérodyne)



5.3 Les espoirs de l'optique non linéaire

Le transistor optique ou transphaseur : L'équivalent optique du transistor électronique existe; on l'appelle transphaseur ou transistor optique. La cellule de base est l'interféromètre de Fabry-Pérot (qui est également à la base de la diode laser) : un matériau non linéaire photoréfractif (matériaux à la fois électro-optiques et photoconducteurs : CdS, InSb, GaAs, $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ ou BSO, LiNbO_3 , dopé Fe, etc.) est enfermé entre deux surfaces à haut pouvoir de réflexion, disons 90 % pour fixer les idées (Fig. 5.9). Ces miroirs peuvent être formés par les faces clivées du cristal ou par des structures diffractives telles que celles de la fig.5.2. Lorsqu'un faisceau lumineux non cohérent atteint une face de la cavité, seul le 10 % de l'intensité pénètre à l'intérieur et seul le 1 % en ressort (Fig.5.9.b). Si maintenant le faisceau incident est cohérent et si la longueur optique (produit de l'indice de réfraction par la longueur géométrique) de la cavité est ajustée à un multiple entier de $\lambda/2$, les multiples réflexions à l'intérieur produisent des interférences constructives (Fig.5.9.c). L'intensité dans la cavité peut alors devenir 10 fois plus grande que celle du faisceau incident et le faisceau de sortie aura une intensité du même ordre de grandeur que celle du faisceau d'entrée : la cellule devient transparente !

Fig.5.9. Principe de la cavité Fabry-Pérot en commutateur

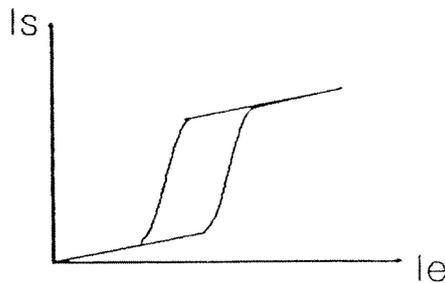


L'ajustement de la cavité sur sa résonance est très critique : une toute petite variation de la longueur optique va considérablement diminuer l'intensité de sortie. L'idée fondamentale du transistor optique est de pouvoir ajuster finement l'accord de la cavité en variant l'indice de réfraction du matériau la constituant. Pour ce faire, on utilise un matériau linéaire saturable. Un matériau est dit optiquement non linéaire lorsque son indice de réfraction varie avec l'intensité lumineuse qu'il

transmet. Il est dit saturable lorsque, pour des intensités suffisantes, il devient quasi transparent (absorption presque nulle des photons). Un semiconducteur est typiquement un tel matériau: son indice de réfraction dépend du nombre d'électrons qui ont franchi la bande interdite séparant la bande de valence de la bande de conduction, ce nombre étant également fonction du nombre de photons absorbés par seconde, donc de l'intensité transmise. Lorsque tous les électrons ayant l'énergie suffisante pour passer dans la bande de conduction l'auront fait, plus aucune absorption photonique n'est possible et le milieu est saturé : il est transparent. De cette façon, il est possible de modifier optiquement l'indice de réfraction dans la cavité; de plus, la transparence augmentant, l'intensité dans la cavité va être renforcée, ce qui diminue encore plus l'indice, et ainsi de suite (rétroaction positive). On obtient finalement entre l'intensité d'entrée et celle de sortie la courbe de la Fig.5.9.d. Le temps de commutation est de l'ordre de la picoseconde, mille fois inférieur au transistor électronique !

Élément bistable : L'existence de la bistabilité a été prévue théoriquement en 1969 par A. Szöke et col. au MIT; sa mise en évidence ne date que de 1976; elle est due à Hyatt Gibbs, Samuel Mc Call et Thirumalai Venkatesan des Bell Laboratories. En changeant la longueur de l'interféromètre, la longueur d'onde du faisceau incident ou la nature du matériau de la cavité, il est possible d'obtenir une courbe de réponse avec hystérèse (Fig.5.10)

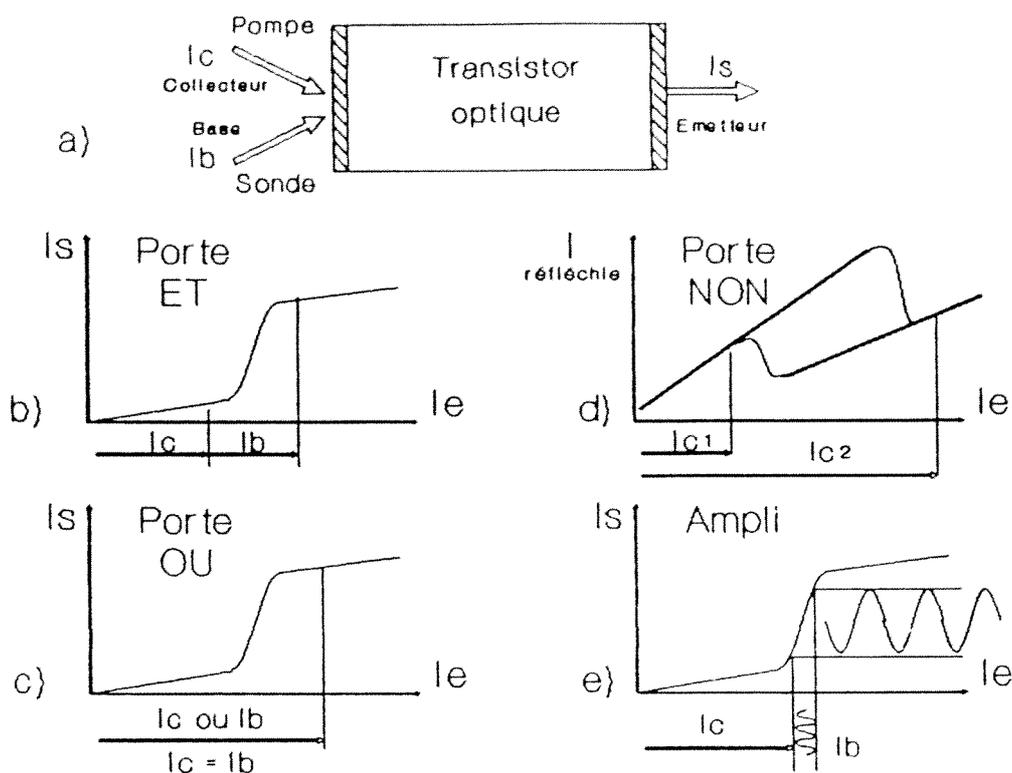
Fig.5.10. Transistor optique avec hystérèse.



En raison d'une rémanence possible dans les effets de saturation du matériau photoréfractif, à une intensité incidente I_e peut correspondre deux états d'intensité de sortie.

Fonctionnement binaire : Pour faire fonctionner le transistor optique en "faux ou vrai" (états 0 ou 1), il suffit de faire agir à l'entrée un faisceau dit "pompe" qui amène l'interféromètre au pied de la résonance (Fig.5.11.a et b). Si un faisceau supplémentaire dit "sonde" s'ajoute au précédent, le transistor bascule dans l'état "haut", et inversement. On a également une porte logique ET puisqu'il faut la présence des deux faisceaux pour que l'état "haut" soit atteint.

Fig.5.11. Modes de fonctionnement du transistor optique



Porte logique OU : Si les deux faisceaux sont d'intensité suffisante pour amener le matériau en saturation, il suffit de la présence de l'un des deux pour obtenir l'état "haut" et donc une porte logique OU.

Porte logique NON : En utilisant le faisceau réfléchi d'un élément bistable, on obtient une porte NON (Fig.5.11.d) : à un niveau "haut" d'entrée correspond un niveau "bas" de sortie, et inversement.

Amplification : Le fonctionnement du transistor optique en amplificateur est également possible : le faisceau "pompe" fixe le point de fonctionnement ("polarisation") et à une variation analogique faible de la "sonde" (la base) correspond une amplification à la sortie (émetteur).

Applications aux télécommunications : Elles sont nombreuses :

- Modulation "tout optique" binaire ou analogique avec une bande passante près de 1000 fois supérieure à la modulation électronique.

- Opérations de calculs (ordinateur optique) directement sur les signaux optiques; par exemple la démodulation et le démultiplexage du signal en fin de ligne permettrait de séparer optiquement les différentes voies avant qu'ils n'atteignent les détecteurs; chaque photodétecteur ne mesurant qu'un message, sa lenteur devient compatible avec les très hauts débits permis.

- L'architecture même de l'ordinateur optique pourrait être très différente de celle d'un ordinateur électronique; premièrement le traitement en parallèle de plusieurs signaux est possible (Fig.5.12); en second lieu, selon l'intensité du faisceau "pompe" et le matériau non linéaire plusieurs états logiques peuvent être obtenus sur le même chip (bistabilité multiple, Fig.5.13). Par exemple, tous les points d'une image bidimensionnelle peuvent être traités simultanément !

Fig.5.12. Traitement parallèle.

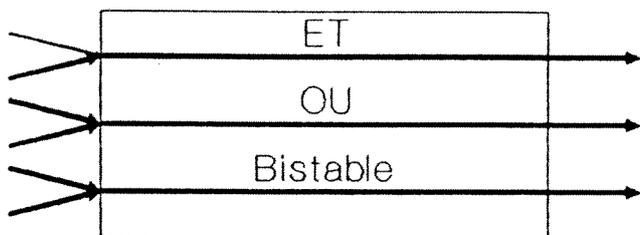
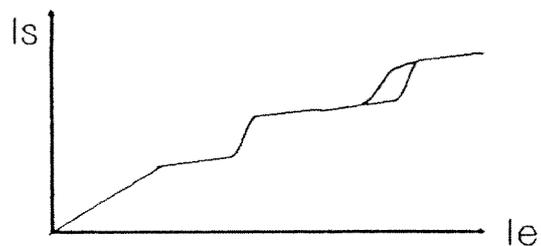


Fig.5.13. Bistabilités multiples



- Mémoires dynamiques (temps réel) tridimensionnelles holographiques (théoriquement 10^{13} bits/cm³) : enregistrement direct à la sortie des fibres, sans électronique.

- Mémoires dynamiques bidimensionnelles par matériaux magnéto-optiques (disques compacts réinscriptibles de la figure 5.7).

- Lentilles GRIN dynamiques, le gradient d'indice étant modulé par le faisceau "pompe".

- Génération d'ondes conjuguées permettant la correction des aberrations optiques : miroirs et lentilles dont la résolution n'est limitée que par la diffraction naturelle.

- Génération d'harmoniques (doublement de la fréquence optique de la porteuse p.ex.) pour le multiplexage λ .

Difficultés : A côté des difficultés technologiques de fabrication des éléments optiques précédents, on citera trois limitations fondamentales à l'avènement rapide de l'optique non linéaire :

- La non linéarité de l'indice de réfraction est inversement proportionnelle au carré de la largeur énergétique de la bande interdite, d'où le problème de choix de matériaux adéquats travaillant à température ambiante.

- Translativité des transistors optiques : le faisceau de sortie d'un transistor doit devenir le faisceau "sonde" ou "pompe" du suivant, ce qui n'est encore pas entièrement résolu.

- L'intensité du faisceau "pompe" est encore trop élevée et incompatible avec une consommation électrique normale.

6. CONCLUSION

Nous avons vu que pour réaliser une ligne de transmission monocal à haut débit, tous les maillons existent. Les composants sont même proches de leur optimum. Le multiplexage de plusieurs voies sur des fibres déjà installées va s'implanter peu à peu.

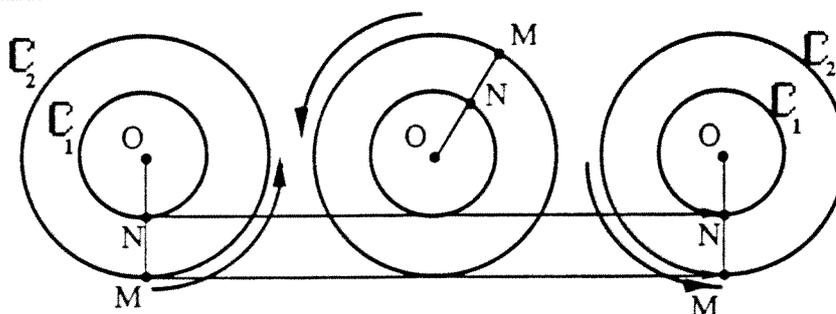
Des débits au moins dix fois supérieurs sont envisagés d'ici la fin de ce siècle; leur rapidité de mise en oeuvre dépendra des succès dans la mise au point de nouvelles fibres, de l'optique intégrée et de la détection cohérente. Quant à l'optique non linéaire, elle a encore de gros progrès à faire avant que les espoirs présentés deviennent réalité, mais il ne semble pas qu'ils soient vains.

Iu pour vous

Amore, Bruno d'. Paradoxes en géométrie. **Bulletin des maîtres de mathématique vaudois**, No 50, 1991.

Une dizaine de paradoxes comme exercices de logique "démonstrative". L'article original a paru en italien dans le Bollettino dei docenti di matematica No 19, décembre 1989.

Paradoxe de la roue d'Aristote



Les cercles C_1 et C_2 sont isométriques.

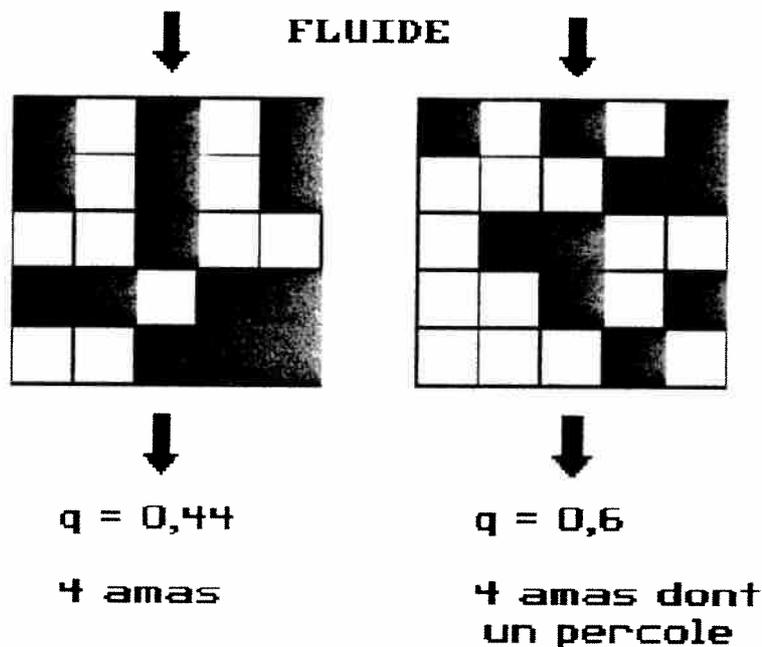
Temam, D. Des filtres aux rumeurs : la percolation. **Tangente No 24**, novembre-décembre 1991.

Grassberger, P. La percolation ou la géométrie de la contagion. **La Recherche No 232** mai 1991.

Eh oui, la théorie de la percolation tire bien son nom des machines à café. C'est un anglais, Hammersley, qui a introduit le terme alors qu'il étudiait le passage d'un fluide à travers un filtre.

Pour simplifier la présentation, on peut imaginer une section d'un filtre comme un damier. Au début, le filtre est bouché, toutes les cases sont noires. Puis, pour déboucher le filtre, on blanchit, au hasard, des cases du damier. Au bout d'un certain temps, le fluide trouvera un chemin pour passer à travers le filtre. On dit qu'un "amas" (ensemble de cases reliées par un côté) de cases blanches a "percolé". Si on note q la proportion de cases blanches, la théorie de la percolation montre qu'il existe une proportion critique q_c telle que si $q < q_c$ il y a peu de chance qu'un amas "percole". Dans le cas contraire il est presque certain que le phénomène se produira. La proportion critique dépend de la géométrie du filtre (dans le cas présenté ici, il paraît que $q_c = 0.5927$).

Ce modèle permet de rendre compte, avec plus ou moins de bonheur, d'autres situations : conductivité des alliages, propagation des épidémies, incendies de forêt, rumeurs. Il permet aussi de prédire à partir de quelle proportion de sens uniques (établis au hasard, ce qui semble être le cas assez souvent), il devient quasi impossible de traverser une ville en auto.



Il apparaît que ces "petites" théories sont intéressantes à plus d'un titre :

- Moyennant quelques lignes de programmation on peut facilement manipuler quelques hypothèses (voir par exemple le programme en Prolog, pages 3 et 4 de couverture),
- le jeu d'interaction entre les chercheurs qui "portent" la théorie est bien lisible, les essais infructueux sont apparents, le formalisme ne cache pas encore le point de départ,
- toutefois le besoin de quelques principes de base se fait sentir qui "expliquent" les phénomènes observés et les relient à d'autres phénomènes du même type.

Il s'agit bien sûr d'une appréciation personnelle, des collègues auront peut-être envie de s'exprimer à ce propos ...(LOP)

jeux math & logique

6e CHAMPIONNAT INTERNATIONAL DE FRANCE DE JEUX MATHÉMATIQUES ET LOGIQUES

F. Jaquet

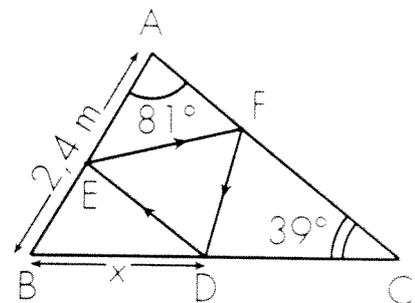
C'est parti pour la sixième édition du championnat international organisé par la FFJM (Fédération française des jeux mathématiques). Comme l'an dernier, il y a un tour supplémentaire et, pour mieux répartir les différentes phases, l'épreuve 1992 a débordé sur 1991. Les noms des élèves qualifiés pour les demi-finales du 21 mars 1992, (à Delémont, cette année, pour les candidats de notre région) devaient être connus le 10 janvier déjà. Il a donc fallu organiser les quarts de finale en décembre dernier. Du côté des éliminatoires individuels, pour les adultes en particulier, c'est le Nouveau Quotidien qui donnait le coup d'envoi dans son édition du dimanche 17 novembre en publiant douze beaux problèmes, repris dans *Tangente* no 24 et *Jouer à tout* no 3, hors série. (Cette dernière revue est désormais diffusée en Suisse par Naville).

Pour ceux qui n'auraient pas eu connaissance de ces problèmes, nous ne résistons pas à l'envie d'en présenter ici deux d'entre eux, déjà célèbres pour avoir donné des insomnies à plus d'un candidat :

La tête contre les murs

Un mathématicien fou est enfermé dans une cellule capitonnée triangulaire ABC. Celui-ci tient à se taper la tête successivement contre chacun des trois murs, en un circuit toujours identique et le plus rapidement possible tout au long de la journée!

A quelle distance x du point B (exprimée en cm) doit-il choisir son point de départ D entre B et C ?



Que de 8 !

Avec combien de chiffres s'écrit, dans le système décimal, le plus petit nombre entier qui soit divisible par 1992, et dont l'écriture décimale n'utilise que des "8" ?

(Donnez comme réponse "0" si vous pensez qu'un tel nombre n'existe pas.)

Une première en Suisse romande : des quarts de finale coordonnés

L'organisation d'un quart de finale en mode "fermé" permet à tous les élèves d'un établissement de participer, indépendamment des quarts de finale de type "ouvert" proposés pour leurs classes par certains maîtres ou des éliminatoires individuels. Cette offre supplémentaire exige, bien entendu, un investissement important en préparation d'épreuves, corrections, animation, encadrement. Neuf écoles de Suisse romande se sont simplifiées sensiblement la tâche en coordonnant leurs efforts. A Porrentruy, Delémont, Bassecourt, Les Breuleux, Bienne, Colombier, Neuchâtel, la Chaux-de-Fonds et Nyon, le mercredi 11 décembre 1991, plus de

500 élèves se retrouvaient devant les mêmes problèmes, dans les conditions des phases ultérieures du championnat : sans calculatrice, en temps limité, dans une ambiance de fête, en contact avec d'autres camarades avec lesquels les échanges ne tardent pas à s'établir dès que les réponses sont rendues.

La FFJM fournissait un choix de questions. Les organisateurs s'en sont largement inspirés, aménageant certaines d'entre elles ou en ajoutant d'autres, plus simples, pour que chaque participant arrive à en résoudre quelques-unes.

En catégorie C1 (degrés 6 et 7) les élèves avaient 7 problèmes à résoudre. En C2 (degrés 8 et 9) et Ly (secondaire supérieur), on leur en proposait 8. Certains étaient communs à deux ou au trois catégories. Nous les publions, dans les pages suivantes, prêts à la photocopie mais sans tenter de les classer par ordre de difficulté.

Pour en savoir plus

Le succès grandissant du championnat montre, à l'évidence, le plaisir, l'intérêt et l'engagement des maîtres et élèves participants. Mais que fait-on de cet engouement ?

Lors des premières éditions, il a fallu se préoccuper avant tout des aspects d'organisation. C'était légitime et indispensable. Aujourd'hui, se contenter des classements signifierait qu'on ne dépasse pas le niveau de la compétition et que seul le nombre de points obtenus par chaque candidat nous intéresse.

Or, c'est loin d'être le cas. Les organisateurs ou les maîtres engagés souhaitent en savoir plus; sur les taux de réussite par question, sur les procédures mises en oeuvre par les élèves lors de la résolution des problèmes, sur les effets à moyen ou à long terme de ces activités, etc. Il est en effet très frustrant pour les observateurs de constater que deux à trois heures de recherche intensive se résument à un bulletin-réponse où il n'y a que quelques lacunes à compléter.

Lorsque nous en saurons un peu plus sur le "fonctionnement" des candidats en cours de résolution de problèmes, nous pourrons envisager les aspects didactiques et pédagogiques de ces activités. C'est ici que le passionné de cassette ou de concours devra céder la place au maître de mathématiques en se posant des questions sur les apports de ces jeux dans les apprentissages des élèves, sur leurs liens avec les objectifs du plan d'études, etc.

Il y a des projets dans l'air : rencontres entre maîtres sur ce thème dans le cadre du perfectionnement continu, groupes de travail, échanges d'expériences. On en reparlera très certainement dans cette revue de la SENS, dans Math-Ecole ou dans d'autres cadres plus institutionnalisés.

En attendant, rien n'empêche ceux qui sont intéressés d'intégrer ces problèmes dans leur enseignement, de recueillir des commentaires ou des productions d'élèves, de dresser des inventaires de stratégies de résolution, en prenant bien soin de conserver précieusement toutes ces données pour le jour - proche - ou elles pourront être échangées et examinées en commun. Le comité de rédaction attend avec intérêt toute proposition de publication sur ce thème pour son prochain numéro.

LA FAMILLE DUPONT

Dominique et Claude sont deux des enfants de M. Dupont.

Dominique a autant de frères que de sœurs et Claude a le double de sœurs que de frères.

Combien d'enfants a M. Dupont ?

CALCULATRICE À L'ENVERS



Marie affiche un nombre de deux chiffres sur sa calculatrice.

Jean, assis en face, regarde ce que Marie vient d'afficher. Le nombre qu'il lit vaut 39 de plus que celui de Marie.

Quel est le nombre affiché par Marie ?

TAS PAS CENT BALLES ?

Hector doit cent francs à Anatole. Il le paie avec cent pièces exactement, de 5 centimes, de 1 franc et de 5 francs.

Combien lui a-t-il donné de pièces de chacune des trois sortes ?

LA MÂCHOIRE À JEAN

Jean Sive, à qui il manque déjà un certain nombre de dents, après un diagnostic dentaire, hésite entre deux possibilités : se faire remettre trois dents, ou bien s'en faire arracher quatre.

Le nombre de dents qu'il aurait après avoir adopté la première solution serait un multiple du nombre de dents qu'il lui resterait s'il adoptait la seconde.

Combien Jean a-t-il de dents (avant le traitement) ?

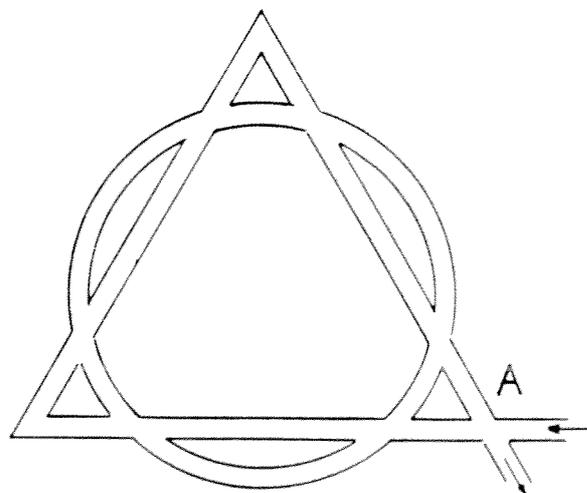
(Indiquez toutes les solutions.)

LA FILLE D'ARIANE

La fille d'Ariane se trouve en A, munie d'une bobine de fil. Elle doit parcourir le labyrinthe, puis revenir en A, et sortir. En déroulant son fil derrière elle, de telle sorte que les conditions suivantes soient respectées :

- . chaque couloir doit être parcouru exactement une fois
- . la fille d'Ariane peut passer deux fois par le même carrefour, mais le fil ne doit jamais se croiser lui-même.

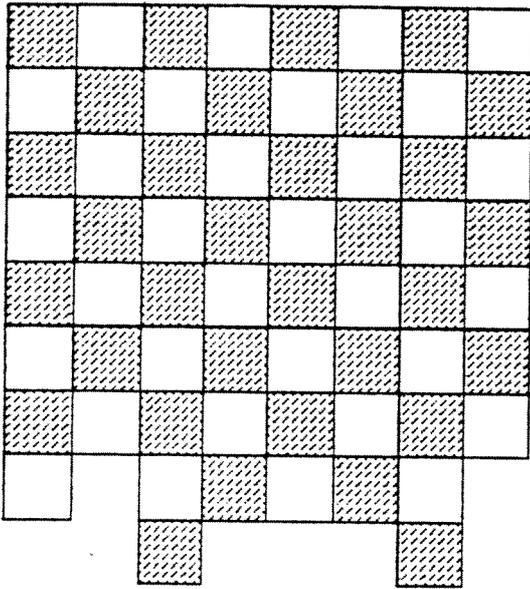
Dessinez le fil de la fille d'Ariane.



(Ne dessinez qu'une seule solution.)

DAMÉCHQUIER

Comment découper ce morceau de damier en deux parties de façon à pouvoir reconstituer un échiquier (de 8 cases sur 8 cases) en réassemblant convenablement ces deux parties ?



LES 8 RÈGLES

Quelle longueur de cordelette doit-on prévoir, au minimum, pour attacher ensemble huit règles de bois de section carrée de un centimètre de côté, sachant qu'il faut au moins 5 centimètres pour faire le noeud ? (On donnera le résultat en centimètres, arrondi au millimètre le plus proche.)

On prendra, si besoin est, 1,414 pour $\sqrt{2}$, 1,732 pour $\sqrt{3}$ et 2,235 pour $\sqrt{5}$.

LES PLAQUETTES DE JOSETTE

Josette a disposé neuf plaquettes numérotées de 1 à 9 dans un sac. Elle en tire trois d'un seul coup. Elle forme avec ses trois plaquettes tous les nombres à trois chiffres possibles, sauf un. La somme des cinq nombres ainsi formés est comprise entre 1982 et 1992.

Quel nombre Josette a-t-elle oublié ?

(N'indiquez qu'une seule solution.)

UN AN DÉJÀ

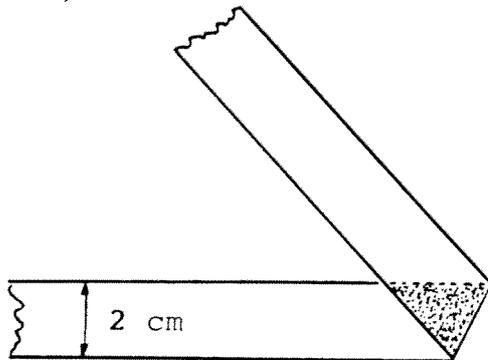
6	4	9
5	3	0
8	1	2

		3

La grille de gauche est composée de 9 chiffres tous différents. Elle révèle trois nombres écrits horizontalement : 649, 530 et 812, dont la somme est égale à 1991, et trois nombres écrits verticalement (de haut en bas) : 658, 431 et 902, dont la somme est égale, elle aussi à 1991. Mais un an s'est écoulé, et nous sommes dans le Championnat 1992.

Alors complétez la grille de droite à l'aide de neuf chiffres tous différents, de manière que les trois nombres écrits horizontalement aient pour somme 1992, de même que les trois nombres écrits verticalement (de haut en bas).

La bande de papier représentée ci-dessous, dont les bords sont parallèles, mesure deux centimètres de large. On fait un pli sur cette bande (voir dessin).



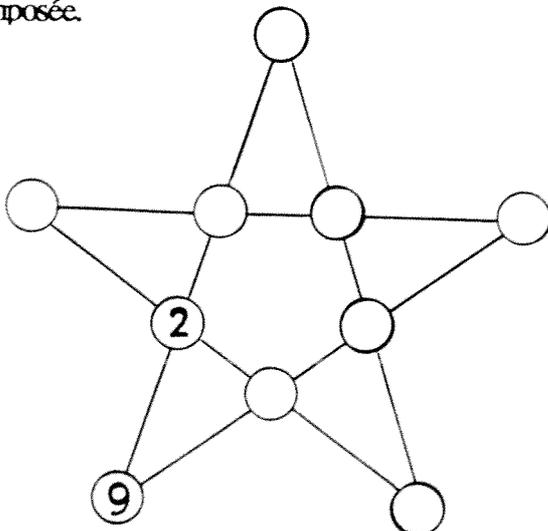
Quelle est l'aire minimum de la région (en grisé sur le dessin), où deux épaisseurs de papier se superposent ?

(On donnera la réponse en centimètres carrés, arrondie au centième.)

JAMAIS MOINS DE TROIS

On veut remplir les dix cercles de ce pentagramme à l'aide des dix nombres de 1 à 10 (chacun pris une seule fois), de telle sorte que la différence entre deux nombres placés dans des cercles reliés par un segment soit toujours supérieure ou égale à 3.

Les nombres 2 et 9 étant déjà placés, complétez le pentagramme en respectant la condition imposée.



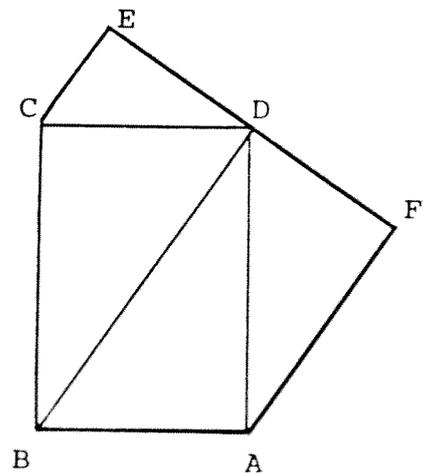
Pim, Pam et Poum participent à une réunion d'athlétisme. A la fin de chaque épreuve, des points sont attribués pour les première, deuxième et troisième places (les nombres de points attribués sont les mêmes dans les différentes épreuves, et le premier obtient plus de points que le second, qui en a lui-même plus que le troisième).

A la fin de la compétition, Pim totalise 22 points, alors que Pam et Poum sont ex-aequo avec 9 points. Personne d'autre qu'eux trois n'a pu gagner de points.

Pam a été premier au lancement du javelot. Mais sauriez-vous dire combien chacun des trois a obtenu de points dans l'épreuve du 100 mètres ?

LE PRÉ D'ESTINÉ

Célestin Estiné, propriétaire estimé, possède un pré de forme pentagonale, formé d'un rectangle ABCD flanqué de deux triangles FAD et EDC respectivement rectangles en F et E (F, D et E sont alignés). Chacun des côtés du pentagone est mesuré par un nombre entier de mètres.



Sachant que BD est perpendiculaire à EF, quel est le plus petit périmètre possible du pré d'Estiné ?

agenda

Séminaire de mathématiques élémentaires, Institut de mathématiques et d'informatique, Chantemerle 20, salle de travaux, 3e étage nord, les mardis de 16h15 à 17h45 aux dates suivantes: 7 et 21 janvier, 4 et 18 février, 3 mars 1992.

Le thème du semestre d'hiver 1991-92 est le suivant:

Quelques aspects de l'oeuvre mathématique de Léonard EULER au regard de l'enseignement actuel.

Dans l'immense oeuvre d'Euler, nombre de travaux ont été écrits en français et sont accessibles sans préparation particulière. Les textes qui seront étudiés touchent à la combinatoire (marche du cavalier sur l'échiquier), à l'arithmétique (problèmes de divisibilité), à l'algèbre (nombre de points d'intersection de deux courbes), au calcul des probabilités et à la géométrie (droite et cercle d'Euler).

Renseignements : André Calame, Chargé de cours, "Les grands champs", 2026 Sauges

* * *

Colloques du mardi, Institut de mathématique et d'informatique, Auditorio nord, 2e étage, les mardis dès 16 h 15.

7 janvier : *Autour du problème de Burnside sur les groupes périodiques* (V. Sergiescu, Institut Fourier, Grenoble).

14 janvier : *Isopérimétrie pour les groupes et les variétés* (T. Couhlon, Paris VI).

28 janvier : *Une conjecture en K-théorie topologique équivariante* (J. Thévenaz, Université de Lausanne).

11 février : *Rigidité de certaines actions de groupes semi-simples sur des variétés compacts* (G. Seydoux, Genève).

18 février : *Généricité dans les groupes de type fini* (C. Champertier, E.N.S., Lyon).

Renseignements : Alain Valette, Institut de mathématique et d'informatique, Chantemerle 20, cp 2, 2007 Neuchâtel.

* * *

Les **Judis de l'Atelier** servent de lieu d'échange et d'information sur l'usage de l'ordinateur dans des apprentissages de base. Les séances ont lieu de 19h30 à 21h environ dans les locaux de l'Atelier de formation continue, rue des Terreaux 1, Neuchâtel. Voici le programme des prochaines séances :

Judi 30 janvier 1992 : *Quelle utilisation pédagogique des 'hypertextes' ?* (L. Gagnebin, L.-O. Pochon).

Judi 27 février 1992 : *Télématique et formation* (J.-P. Baer)

Judi 26 mars 1992 : *Les systèmes auteur multimédia* (Michel Favre, L.-O. Pochon)

Renseignements : Atelier de Formation continue, CPLN, Rue des Terreaux 1, 2000 Neuchâtel, Tél: 20 78 40

Introduction à la pensée et à l'action systémique

Le cours d'introduction à la pensée et à la pratique systémique a lieu tous les jeudis à l'Université, Av. du 1er Mars 26, 12h15 salle D63.

Les colloques ont lieu le mercredi tous les quinze jours à 17h15, salle D63

15 janvier : *Les implications de la pensée systémique en psychologie* (A. Munari, FAPSE, Genève).

29 janvier : *Le relateur arithmétique, un outil formel pour décrire les systèmes naturels* (T. Moulin, ENSTA, Paris).

12 février : *Triade, émergence et complexité. Quelques modèles philosophiques* (J.-J. Wunenberger, Université de Bourgogne, Dijon).

26 février : *Ondes et chaos dans le son musical* (V. Gibiat, Paris VII).

Renseignements : Eric Schwarz, CIES, Université de Neuchâtel, 26, av. du 1er Mars, Tél. 038 25 38 51, fax : 038 25 18 32

Prolog et les machines à café

Voici un noyau d'un environnement Prolog qui permet de faire quelques expériences de percolation (voir pages 11 et 12)

```
% Création d'un damier (ici 10x10)
% case(I,J,0) représente la case
% noire de coordonnées (I,J)
```

```
damier :-      retractall(case(_,_,_)),
               retractall(exploree(_,_)),
               retractall(depart(_)),
               for(9,I),
               for(9,J),
               assertz(case(I,J,0)),
               fail.
```

```
damier.
```

```
% On blanchit une case au hasard
% case(I,J,1) représente la case
% blanche de coordonnées (I,J)
```

```
debouche :-   random(10,L),
               random(10,C),
               retract(case(L,C,_)),
               assertz(case(L,C,1)),!.

% répétition du blanchissage
% depart(J) représente une case blanche
% de coordonnées (0,J) (1e ligne)
```

```
debouche(N) :- for(N,_),
                debouche,
                fail,!.

debouche(_ :- case(0,J,1),
              assertz(depart(J)),
              fail.
```

```
debouche(_).
```

```
% calcule de la proportion q
```

```
prop_q(Q) :-  findall(N,case(_,_,N),LN),
               sommel(LN,N_BLANCHES),
               listlen(LN,N_CASES),
               Q=N_BLANCHES/N_CASES.
```

```
% recherche d'un amas ancré sur la
% première ligne
```

```
explore :-    depart(J),!,
              explore(0,J).
```

```
% recherche d'un amas contenant la case
% de coordonnées (I,J). Les cases de l'
% amas sont marquées par exploree(I,J)
```

```
explore(I,J) :- case(I,J,1),
                 not(exploree(I,J)),
                 assertz(exploree(I,J)),
                 case_suivante(I,J,I1,J1),
                 explore(I1,J1),
                 fail.
```

```
explore(_,_).
```

```
case_suivante(I,J,I1,J1) :- J>0,J1=J-1.
case_suivante(I,J,I1,J1) :- J<9,J1=J+1.
case_suivante(I,J,I1,J) :- I>0,I1=I-1.
case_suivante(I,J,I1,J) :- I<9,I1=I+1.
```

SOMMAIRE , No 11

La fin du XXème siècle sera-t-elle photonique ?	Philippe Bovay	p. 1
Lu pour vous		p. 11
6e championnat international de jeux mathématiques et logiques	François Jaquet	p. 13
Agenda		p. 18

Prolog et les machines à café (suite de la page 3 de couverture)

```
% pour ne pas rechercher plusieurs fois  
% des amas ayant plusieurs ancrages sur  
% la première ligne
```

```
purge :-      depart(J1),  
             exploree(0,J1),  
             retract(depart(J1)),  
             fail.
```

```
purge.
```

```
% Eureka, un amas percole
```

```
message :- exploree(9,_),!,write("\nPercolation !").  
message.
```

```
% création d'un filtre
```

```
debut :-      damier,debouche(85),  
             prop_q(Q),nl,write(Q),nl,  
             dessine.
```

```
% recherche de tous les amas ancrés  
% sur la première ligne
```

```
run :-      depart(_),  
            explore,message,purge,  
            dessine,  
            retractall(exploree(_,_)),  
            fail.
```

```
run.
```

Un essai montre que la coupure (proportion critique) n'est pas si nette que cela. Le nombre de cases a certainement de l'influence ! Les pourcentages sont calculés sur la base de 30 essais. La proportion figurant entre parenthèses est la proportion de damiers où un amas ne percole pas à une case près !

q	proportion de damiers où un amas percole	proportion de damiers où aucun amas ne percole
0.52-0.55	0.14	0.86 (0.14)
0.56-0.59	0.25	0.75 (0.50)
0.60-0.63	0.73	0.27 (0.18)

Pour vous abonner au bulletin (10 Frs pour une année) adressez-vous à:

Michel Favre, rte de la Jonchère 13a, 2208 Les Hauts Geneveys (038/ 53 38 81)

Pour demander votre adhésion à la Société des enseignants neuchâtelois de sciences prenez contact avec la présidente:

Françoise Jeandroz, Les Allées 30, 2300 La Chaux-de-Fonds (039/ 23 09 56)