

ساز و کارهای شنوائی

ترجمه و اقتباس: حسین ابراهیمی

از مجموع آموزش فیزیک دانشگاه تربیت معلم

بیش از یک قرن است که نظریه های مختلف برای تشریح طرز کار دستگاه شنوائی به ویژه روی ساز و کار صدای آمیخته و خاصیت اساسی شنوائی بیان شده است.

در سال ۱۸۵۷ هلملتز^۱ نظریه رزنانس را که بر اساس آن تجزیه صداها به وسیله گوش انجام می گیرد، پیشنهاد کرد ولی راترورد^۲ در سال ۱۸۸۰ نظریه تلفنی را که برخلاف نظریه هلملتز بود و جای تجزیه صداها را در مغز می دانست عنوان کرد، پس از آن نظریه های دیگری از ترکیب برتری های نظرات فوق ارائه شده است. در حدود چهل سال اخیر طرز عمل دستگاه شنوائی به طور تجربی مورد مطالعه قرار گرفته است. در این مقاله پس از شرح نظریه رزنانس و نظریه تلفنی، روی اصول شناخته شده ساز و کار شنوائی که در زمان حاضر نیز مورد بررسی است بحث خواهیم کرد.

نظریه های شنوائی:

الف) نظریه رزنانس - صدای آمیخته را بد کمک دستگاه رزوناتور می توان تجزیه کرد، بر اساس نظریه هلملتز گوش نیز می تواند مانند دستگاه های رزوناتور، صدای را تجزیه کند، این رزوناتور ها که به شکل الیاف مجزا فرض شده اند در طول حازون گوش درونی به شکل

تارهای در سطح عشاء بازیلر^۱ ردیف کشته‌اند و هر کدام آنها در اثر ارتعاشی که با فرکانس آن سازش دارد، وارد ارتعاش می‌گردند. بنابراین رزو ناتورها که به تارهای عصب شناوی متصل هستند، آنها را تحریک می‌کنند و هر قاره عصب شناوی برای فرکانس بخصوص وارد عمل وفعالیت می‌گردد و پیامی را که مشخص کننده احساس است منتقل می‌کند یعنی عصب شناوی هزبور پیام حسی تجزیه شده را به معز انتقال می‌دهد: همچنین نظریه هاملتز در عین حال که یک نظریه «رزونانس» است، «نظریه تمرکز محلی^۲» نیز می‌باشد. به این ترتیب که تجزیه درگوش انجام می‌گیرد ولی دریافت هر فرکانس اختصاص به محل بخصوصی از حائزون دارد. پس از بیان این نظریه، رزو نانس در وضع حساسی قرار گرفت و آن مشکل یافتن رزو ناتورها درگوش بوده است تا از روی آن خواص مشخصه شناوی توجیه گردد. هاملتز پس از انعطاف توجه خود روی برآمدگی‌های بسیار زیز به اسم کرتی که به تارها متصل می‌باشند قبول کرده است که رزو ناتورها همان تارهای غشاء بازیلر هستند و چون برای آنکه احساس کاملی از صدای های با فرکانس های متفاوت داشته باشیم وجود تعداد زیادی رزو ناتور لازم است، از طرف دیگر ملاحظه می‌شود که تعداد تارهای غشاء بازیلر نیز به اندازه کافی زیاد می‌باشند و خود این امر ظاهراً می‌تواند تأثیری بر نظریه هاملتز باشد.

از طرفی اگر قبول کنیم که فرمول تارهای مرتعش برای آنها عملی باشد یعنی:

$$f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

[فرکانس (f) هر کدام بستگی دارد به طول (l)، کشش آن (F)، جرم واحد طول آن (μ)] می‌بنیم که با در نظر گرفتن ساختمان حائزون، این سه عامل درجهت مورد نظر و در نسبتی که به نظر کافی می‌رسد تغییر می‌کنند و به این ترتیب پیش فرکانس‌های را در طول حائزون می‌توان توجیه کرد، جای فرکانس‌های زیر در قاعده پرده بازیلر و فرکانس‌های بهم در راس آن است. برای توجیه پدیده های شناوی، رزو ناتورهای هاملتز باید دارای دو خاصیت مقضاد زیر باشند: خاصیت انتخاب کننده^۳ و خاصیت هیرائی^۴.

تذکرو: یک رزو ناتور در صورتی انتخاب کننده است که با دامنه بزرگ فقط برای فرکانس

-
- ۱- Les Fibres de la membrane basilaires
 - ۲- Theorie de la localisation
 - ۳- Selectivité
 - ۴- Amortissement

هانی که با آن سازش دارد وارد ارتعاش گردد، رزوناتورهای گوش باید چنین حالتی را داشته باشند. چون صدای با فرکانس معین فقط با ارتفاع خودش شنیده می‌شود و نه با ارتفاعهای مجاور آن، پس تیجه‌می‌گیریم که رزوناتورهای مجاور ارتعاش نمی‌کنند و یا در صورت ارتعاش دائمی آنها بسیار کوچک است.

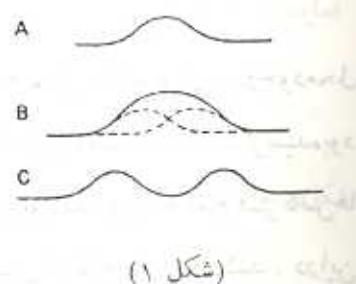
یک رزوناتور در صورتی خیلی میرا است که دائمی ارتعاشات آن به علت تیزروی مالش قابل ملاحظه به طور سریع کم گشته ازین برود، در مورد گوش چنین حالتی هست زیرا پایداری احساس شناوی بعداز ۱ ثانیه ازین می‌رود.

بنابراین در رزوناتورهایی که طبیعتاً هیرائی آنها زیاد باشد خاصیت انتخاب کنندگی آنها کم می‌گردد و مقابلاً رزوناتور با خاصیت انتخاب کنندگی زیاد، در مدتی طولانی ارتعاش می‌کند زیرا که رزوناتور به وسیله ازتعاشاتی که فرکانس آنها برای فرکانس مخصوص آن باشد تحریک می‌گردد. به همین ترتیب یک دیاپازون در صورتی درهوا تشیدید می‌گردد که تحت تأثیر ازتعاشاتی قرار گیرد که فرکانس آنها برای فرکانس دیاپازون و با خیلی نزدیک به آن باشد، در این حال دیاپازون به ارتعاشات خود در زمانی طولانی ادامه خواهد داد. بر عکس در آب که در آن مالش بر اثر چسبنایی زیاد است، رزوناتور می‌تواند در گام وسیعی از فرکانس، حول فرکانس مخصوص خود وارد رزونانس گردد، ولی فقط پس از چند ارتعاش بحال تعادل باز می‌گردد (بایان تذکر). از طرفی تارها آزاد نبوده در غشاء بازیلار قرار گرفته‌اند و بین خودشان وابستگی‌های مشترک دارند، بهمین دلیل قبول کردند که رزونانس سبب ارتعاش یک تار تنها نمی‌گردد بلکه موجب ارتعاش یک ناحیه کم و بیش وسیع از غشاء بازیلار می‌گردد، که در وسط این ناحیه ماکریم دائمی ارتعاش قرار گرفته است شکل (۱-A).

شکل (۱) ناحیه ارتعاش غشاء بازیلار در مورد :
(A) فقط یک صدای محرک.

(B) دو صدای خیلی نزدیک به هم :
ناحیه ارتعاش تنها یک ماکریم دائمی دارد.

(C) دو صدا با فرکانس خیلی متفاوت :
ناحیه ارتعاش با دو ماکریم .



تنها این ماکریم است که می‌تواند تارهای عصبی شناوی را تحریک کند و نیز موضع آن ارتفاع صوت را معین می‌کند؛ در این فرض اگر دو فرکانس خیلی نزدیک به هم موجب تحریک

کوش کر دند، اجزای غشاء بازیلر که ارتعاش می‌کنند بطور ناچیه‌ای مرتعش می‌گردد و این ارتعاش تنها هاکزیم دوکی شکل نمایان می‌شوند، به این ترتیب در لک صدای زنگ می‌گردد و از آنجا ارتفاع صوت شنیده شده، واسطه بین ارتفاع های دو صوت در راه فعالیت غشاء بازیلر از یکدیگر دور می‌گردند و در نتیجه دو هاکزیم داعنه به وجود هر کدام از آنها جدایگانه دریافت می‌گردد (شکل ۱- C).

اگر توضیحات مزبور که در لک ذتش ها را توجیه می‌کند، قسمت تضادیین میراثی کنندگی را از میان بر می‌دارد. مشکل دیگری را بر می‌انگیزد: چگونه است که نازه شنوایی فقط در لک نفاطه که در آنجا داعنه ارتعاش هاکزیم است تحریک می‌گردد، و مجاور آن تحت اثر تحریک قرار نمی‌گیرد؟

مالحظه می‌گردد که فهم و در لک رزونانس در گوش ساده نمی‌باشد و به همین لحاظ هالمانز با بسیاری از نظرات شنوایی دیگر متعاقباً پی‌گیری گردیده است.

اثر خایعات صوتی (مانند کلیه کریهای که بر اثر صدای های شدید و مداوم بوجود از قبیل کری شغلی) وجود فرض «تمرکز محلی» (امحرز می‌گردد). همچنین در بعضی «تمرکز محلی» فرکانس ها را بدون آنکه از خاصیت رزونانس استفاده کنند پذیرفته اند دیگر اصولاً نظریه «تمرکز محلی» را قبول نکرده اند.

با وجود تمام مشکلاتی که در نظریه رزونانس وجود دارد، مع الوصف اهمیت متمایز آنرا نباید فراموش کرد و آنچه که مسلم است این نظریه تحریکی در تحقیقات به شنوایی ایجاد کرده است.

ب - نظریه تلفنی را ترفورد:

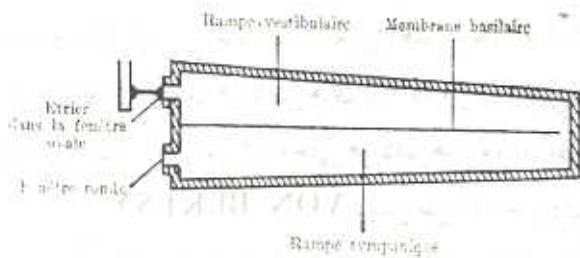
دانشجویی در این نظریه تلفونی در بازه شنوایی، نظریه هالمانز را که همین طبق مخصوص برای هر فرکانس باشد رد کرد، زیرا در زمان او هنوز این مطلب به اثبات نرسیده عقیده او کلیه سلول های عصبی دار متعلق به پرده بازیلر می‌توانند بوسیله تمام تحریک گردد و کافی است که یکی از این سلول ها برای ما احساس ارتفاع را ایجاد کند. فرض تمام اعضاء کرتی تحت اثر صدایی غیر مشخص مرتعش می‌گردد، همچنین کلیه توانها شنوایی تحریک می‌شوند.

بنابراین نظریه، عصب شنوایی پیام عصبی را که به مغز منتقل می‌کند، کاملاً دارای فرکانس و شکل ارتعاش صوتی است. به این ترتیب عصب شنوایی هائند یا ک خط تلفنی عمل می‌کند (نام نظریه) و تجزیه صداها یا ک پدیده روانی است که به کمک مغز انجام می‌شود و پدیده‌ای مرکزی است نه محیطی. یادآوری می‌شود که نظریه تلفنی موفق نشده که جانشین نظریه هاملتز گردد. طرز عمل گوش داخلی - بخشی از گوش داخلی که در شناوی دخالت دارد حلزون Cochlee یا Iimaçon (در لاتینی) می‌باشد. حلزون مفر پدیده‌های مکانیکی (حرکات مایعات و غشاء‌ها) و پدیده‌های الکتریکی (میکروفونی مربوط به حلزون) به شرح زیر است:

الف - پدیده‌های مکانیکی حلزون - معاصران و جانشینان هاملتز نتوانسته‌اند نظریه‌های تدوین کنندگ روش کند در گوش چدمی گزند و چگونه مایعات و غشاء‌ها گوش داخلی تحت اثر صداها منعش می‌گردند.

amerوزه برپایه کارهای که در حدود سال ۱۹۳۰ G. von Bekesy فیزیکدان و فیزیولوژیست هجاءستانی انجام داده است، بخش طرز عمل مکانیکی حلزون را می‌شناسیم، این کار تا سال‌های اخیر می‌گیری شده و در سال ۱۹۶۱ جایزه نوبل برای این تحقیقات نصیب محقق آن گردید.

von Bekesy اولین مشاهدات خود را روی نمونه‌ای از حلزون که ساده و بزرگ ساخته بود انجام داد. در جریان تجربه تغییرات شکل و ابعاد آن از قابل توجهی روی سازوکار اصلی آن نداشته است، بدینه آنکه مجر اخواه پیچیده (مثل حلزون) یا مستقیم باشد تفاوتی در طرز کارطیعی آن ایجاد نمی‌گردد و همین خاصیت است که ساختمان بسیار ساده مدل را تائید می‌کند. ابتدا به طور خلاصه این مدل را شرح می‌دهیم: دریک تیغه فازی به شکل هرم شکاف طول و پهنی از یک انتهای دیگر آن ایجاد کرده و درون شکاف را بدوسیله غشاء نازک کانوچوئی که نمایشگر غشاء بازیلز است به دو دلالان تقسیم نمودند. (شکل ۲).



شکل ۲ حلزون نمونه Von Bekesy

دریکی از دو انتهای تیغه دو سوراخ ایجاد می‌کنند که یکی به دلالان بالا و دیگری به

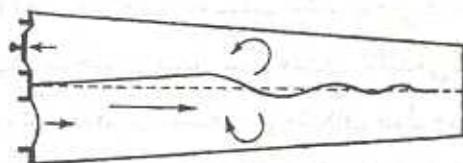
فلزی (رکابی) را قرار داده اند که به وسیله دیپاپازون الکتریکی قادر به حرکت حلزون حقيقی دو دالان واقع در بالا و پائین به وسیله انتهای حلزون بیکدیگر ارتباط دارند . بالاخره نمونه را با مخلوطی از آب و گلیسیرین که دارای چسبناکی پر می کنند . برای آنکه حرکات به خوبی دیده شود ، ذرات فلزی بسیار ریزی معلق می سازند .

کار این « حلزون » ساده چیست ؟

رفتی که رکابی بوسیله دیپاپازون جایجاگشته در دریچه بیضوی ارتعاش تو از غشاء بازیبل که تزدیک دریچه ها قرار دارد نیز با دامنه ای که پس از رکابی تا غشاء کائوچوئی افزایش می باید ، هر تعش می گردد (شکل ۳) .

بعد از این نقطه مشاهده می گردد که امواج درجهت انتهای مقابله دریچه هامانه ولی مقدار دامنه آنها به سرعت کاهش می باید و انتهای آزاد غشاء بازیبل تقریباً بی در نقطه ای که دامنه حداقل است . درمابین غشاء بازیبل چرخش های ایه

خط منقطع جای غشاء در حالتی
هر تعش نمی گردد ، فلش های کوتاه
نشان دهنده جایجاگانی های هجم و
دریچه گرد است . فلش بلند جهت
را در طول غشاء بازیبل نشان می دهد
نقطه ای که در آنجا دامنه ارتعاش
چرخش مابین در دو دالان بالا و
مربوط نشان داده شده است .



شکل ۳ - ارتعاش غشاء بازیبل در حلزون نمونه

چنانچه فرکانس ارتعاشات را تغییر دهد ، محل حداقل دامنه و چرخش ها
این جایجاگانی برای فرکانس های بالا به طرف رکابی و برای فرکانس های پائینی به
دیگر است (این تحرک محلي فرکانس ها ، موييد نظریه رزو نايس درگوش است)

VON BEKESY سپس طرز کار حلزون انسانی را مورد مطالعه قرار

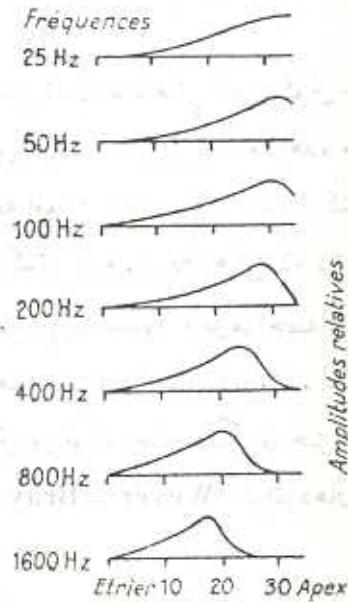
پس از آنکه سوراخهای کوچکی در نقاط مختلف جدار لیماسون ایجاد کرد و
قابل رویت باشند ، دانه های بسیار ریزی از فقره روی غشاء هایی که در داخل حلزون

اویم تو ایست این غشاء هارابه کماش میکرو سکب ایم سیون^۱ و یا پر تو افکنی استر بوسکپی^۲ مشاهده کند، این عمل متعاقباً در تمام دورهای مارپیچ تکرار گردید. وقتی در گوش داخلی حرکات ایجاد می شوند، تمام اعضائی که دودالان بالا و پائین را از هم جدا می کنند (غشاء ریسنر، غشاء بازیلار غشاء اکرتی، غشاء تکتوریال) جمعاً جایگامی گردند. آنها واحدی را بنام واحد جدار حلقه و نی تشکیل می دهند. طرز کار حلقه ون مشابه باطرز کار نمونه است که قبلاً شرح داده ایم. مشاهده می گردد که ارتعاشات مربوط به رکابی موجب حرکات جدار حلقه ون می گردد و هماند نمونه مصنوعی نقطه ای که در آنجا این حرکات دارای حداکثر دامنه هستند، بدیرودی از مقدار فرکانس جایجا می شود. ولی برای فرکانس هایی کمتر از ۳۰ هر تر حداکثر دامنه در رأس^۳ حلقه ون یافت می شود. بر عکس برای فرکانس هایی بیش از ۸۰۰ هر تر بخش رأس جدار حلقه ون ساکن است، و بهمان اندازه که مقدار فرکانس افزایش می نابد، حداکثر دامنه نیز به رکابی نزدیک می گردد (شکل ۴).

شکل (۴)

جای حداکثر دامنه برای فرکانس های مختلف در حلقه ون گوش انسان.
فاصله ای که رکابی و نقطه ای را که در آنجا دامنه حداکثر است جدا می کند، روی محور افقی بر حسب میلی متر بوده شده است.

(Von Bekesy)



پس توزیع معینی از فرکانس ها در حلقه ون وجود دارد، یعنی «قمرکز محلی» فرکانس ها مسلم می باشد، ولی نه خاصیت های مکانیکی و نه مدد ارتعاش جدار حلقه ون مؤید وجود رزو ناتورهای ردیف گشته در حلقه ون (نظریه هلملتز) نیستند. پس رزو ناتس نمی تواند پایه اصلی

۱- Microscope immersion

۲- Eclairage Stroboscopique

۳- L' apex

بس پدیده میکروفنی حلزون. وقتی که ارتعاشات صوتی به گوش داخلی می‌رسند مقر تغییرات پتانسیل الکتریکی می‌گرداند. این موضوع در سال ۱۹۳۲ به وسیله دوفیز و امریکائی به نامهای Bray و Wever کشف گردید و با نام آن میکروفنی حلزون مشهور پدیده الکتریکی مزبور منحصرًا مخصوص به گوش نیست. طرز کار تمام اعضاء ماهیچه‌ها، قلب، اعصاب و مغز همراه با فعالیتی الکتریکی است.

مطالعه میکروفنی حلزون: برای مطالعه میکروفنی حلزون، حیوانی را بیهوده استخوان شفیقه تا خفره صماخ آن را سوراخ می‌کنند. تغییرات پتانسیل را با قراردادن یا روی حلزون والکترد دیگر روی ماهیچه گردن می‌توان بدست آورد. صوتی را به گوش حیوان می‌فرستند چنانچه دو الکترد را به ورودی اسیلوسکوپ وصل کنند، علاوه نوسانات الکتریکی روی صفحه اسیلوسکوپ مشاهده می‌گردد که دوباره امواج صوتی است.

چنانچه نوسانات الکتریکی مزبور را به بلندگو وصل کنیم، صدای های که به گوش می‌فرستیم به وسیله بلندگو دوباره تبدیل به امواج صوتی می‌گردد. به این ترتیب مشاهد که گوش مانند یک میکروفون می‌تواند امواج صوتی را به امواج الکتریکی تبدیل کند. تغییرات پتانسیل در حدود ۰-۱۰ ولت است، یعنی خیلی کمتر از میکروفن هایی که ساخته شده می‌باشد ولذا برای اندازه گیری تغییرات پتانسیل باید به طور قابل ملاحظه تقویت کرد. اثر میکروفنی حلزون نزد تمام حیوانات و همچنین نزد انسان دیده شده محل مشاهده تغییرات پتانسیل پخش شده در گوش می‌تواند جای دیگری را داشته باشد از جمله روی عصب شنوایی، برای این منظور Wever - Bray عصب شنوایی قرارداده اند.

در تیجه دیده شده پتانسیل حلزونی که از حلزون بدست می‌آید تقریباً خصوصی پتانسیل بدست آمده از عصب شنوایی مخلوطی است با پتانسیل عمل عصب و این اینترای باهم مقابله می‌گردد. اثر میکروفنی حلزون یا که پدیده عصبی نیست، این اثر پس از این بعداز قطع جریان و تأثیر موضعی کوکائین یا کلروفورم مدتی باقی می‌ماند. چون در تمام این حالات جریان عصبی فوراً و کلاً محو می‌گردد ولی اثر میکروfon می‌شود، بنابراین برای باقتن این اثر، حلزون را سوراخ کرده والکترود را در تماس

لایبرتی قرار می‌دهند که در این صورت اثر میکروفونی بادامنه قابل ملاحظه‌ای در آن مشاهده می‌گردد. هم‌چنین پتانسیل میکروفونی پس از قطع عصب شناوائی و فاسد شدن این عصب و عقده کرتی مدتی پایدار می‌ماند. تجربیاتی که روی خزندگان انجام شده است نشان می‌دهد که بر عکس فعالیت‌های عصبی پتانسیل میکروفونی بدروجه حرارت بستگی ندارد.

بالاخره پتانسیل میکروفونی از قانون (همه باهیچ) پیروی نمی‌کند؛ مقدار پتانسیل میکروفونی تابع شدت صدای دریافتی بدوسیله گوش است و برای صدای خیلی ضعیف به کمک وسایل واسیب‌های مر بوط وجود آن بطور آشکارا مسلم می‌گردد.

فاصله زمانی تحریک تا شروع پاسخ اثر میکروفونی (نایه $\rightarrow \cdot \cdot \cdot$) به طور قابل ملاحظه از فاصله زمانی تحریک قاتر و ع پاسخ پتانسیل‌های عمل عصب شناوائی (نایه $\rightarrow \cdot \cdot \cdot$) کوچکتر است و این تأیید می‌کند که وقتی گوش بدوسیله صدای تحریک می‌گردد، پاسخ میکروفونی خیلی زودتر از پاسخ عصبی ظاهر می‌گردد. هر گونه تغییر اتی که در هر لحظه در فاز ارتعاشات ایجاد می‌گردد، در پتانسیل میکروفونی نیز در همان لحظه بوجود می‌آید. میکروفونی حلقه، صداها را با فرکانس که در باند فرکانس قابل درک و حتی بیش از آن است ایجاد می‌کند و توأم‌تاً اند آن را از دخواهی هندی تافر کانس H_2 ۴۰۰۰۰ و تزدحفشها تافر کانس H_2 ۱۰۰۰۰ بست آورند. بر عکس برای عصب‌ها فرکانس پتانسیل‌های عمل از ۱۰۰۰ در نایه نمی‌تواند تجاوز کند. پس اثر میکروفونی را بدبده عصبی نیست و همچنین هانند فعالیت عصبی بدزندگی حیوان ارتباط ندارد. بدون شک مبنای اصل میکروفونی حلقه را باید در عضو کرتی جستجو کرد و بنابر قیاس می‌توان آن را نتیجه ارتعاش غشاء پالریزه (غشاء پالریز، غشاء تکتوریال) دانست پس چنین غشائی در حال ارتعاش ایجاد پدیده میکروفونی می‌کند. اهر و زغموماً پذیر فته‌اند که اثر میکروفونی حلقه بر اثر تغییر شکل سلول‌های مژه‌دار عضو کرتی ایجاد می‌گردد بالاخره وظیفه اثر میکروفونی حلقه چیست؟ این نکته هنوز نیز کاملاروش نشده است ولی آنچه که مسلم است اثر میکروفونی همیشه احساس را همراهی می‌کند.

ence:

- 1- Que sais - je? André Gribenski
France 1964 (Press universitaire)
- 2- Acoustique - électroacoustique
A- Diber 1964
- 3- Vibration Mécanique - Acoustique
P. Fleury et J.P Mathieu 1968