

*COLLÈGE NATIONAL
DES GYNÉCOLOGUES ET OBSTÉTRICIEUS FRANÇAIS
Président : Docteur B. Maria*

**Extrait des
Mises à jour
en Gynécologie
et Obstétrique**

—

**TOME XXIV
publié le 30.11.2000**



*VINGT-QUATRIÈMES JOURNÉES NATIONALES
Paris, 2000*

Analyse automatisée du rythme cardiaque fœtal

D. SUBTIL*, P. VAAST*, C. GERON*,
R. MATIS**, P. DUFOUR*, F. PUECH*
(Lille)

La diffusion récente des appareils d'enregistrement ultrasonore et d'analyse automatisée du rythme cardiaque fœtal (RCF) dans notre pays est contemporaine de la prise en charge anténatale de fœtus de plus en plus immatures. Ceci n'est pas une coïncidence, puisque l'analyse automatisée du RCF semble surtout appréciable aux âges gestationnels les plus faibles.

Bien que d'autres logiciels de lecture automatisée aient été décrits, la littérature concernant l'analyse automatisée du RCF provient presque exclusivement des travaux des équipes de Dawes, Visser et Redman à Oxford, Londres puis aux Pays-Bas [1-19]. Nous avons choisi de traiter exclusivement de cette technique et de cet appareil¹ dans ce chapitre.

* Clinique de Gynécologie-Obstétrique-Néonatalogie, Hôpital Jeanne de Flandre, 59037 LILLE CEDEX.

** Service de Gynécologie-Obstétrique, Avenue de Monaco
59322 VALENCIENNES CEDEX.

1. Système 8000 et Système 8002
SONICAID, Oxford Instruments, Oxford, Angleterre.

Nous avons fait le choix de restreindre ce chapitre à la **période anténatale**. En effet, l'analyse automatisée du RCF pendant le travail — enregistrée de manière ultrasonore — a montré des différences importantes par rapport à l'analyse anténatale, et aucun intérêt pratique de ces analyses automatisées per-natales n'a pu être trouvé à ce jour [14, 15]. D'autres analyses per-natales du RCF — par ECG fœtal — font appel à des technologies et des analyses qui sont seulement en cours d'étude actuellement [20].

1. RAPPELS CONCERNANT L'ANALYSE VISUELLE DU RCF ANTÉNATAL

1.1. Signification des anomalies

Il existe au cours de la période anténatale trois types principaux d'anomalies, dont la définition peut être sensiblement différente d'un article à l'autre et dont nous retiendrons les plus généralement admises : la **diminution de la variabilité du rythme** (aplatissement du tracé en dessous de 10 bpm), l'existence de **décélérations** spontanées ou contemporaines de contractions utérines (plus de 20 bpm pendant au moins 30 secondes), enfin la **diminution ou la disparition des accélérations** (plus de 15 bpm pendant au moins 15 secondes). Prises individuellement et qualitativement (présence ou absence), chacune de ces anomalies peut être retrouvée à l'état physiologique chez des fœtus en parfaite santé. Prises quantitativement, elles sont d'autant plus inquiétantes qu'elles sont intenses et/ou nombreuses (proportion du tracé en rythme plat, nombre, profondeur et durée des décélérations, nombre des accélérations).

Ces anomalies n'ont pas toutes la même valeur mais ont une **nette tendance à s'associer**, et il est parfois difficile de mesurer le rôle pronostique exact de chacune d'entre elles [21-23]. Pour la grande majorité des auteurs, l'**aplatissement** du tracé a une bien meilleure valeur que l'existence de **décélérations** qui, si elles sont isolées, n'ont aucune valeur pathologique en période anténatale [22]. De la même façon, mais cette fois chez les fœtus très menacés, la présence de décélérations ou l'absence d'accélérations n'ajoutent pas beaucoup au pronostic lorsque le tracé est

plat à plus de 80 %. Dans les situations intermédiaires en revanche (aplatissement du tracé entre 10 et 50 %, ou bien entre 50 et 80 %) la présence de décélérations ou l'absence d'accéléra-tions viennent préciser utilement le pronostic fœtal.

En pratique, il est généralement admis de réaliser l'enregis-trement pendant un **total de 30 minutes** et de le prolonger jusqu'à 45 minutes au moins lorsque la variabilité est faible, dans la mesure où cette baisse de la variabilité peut simplement correspondre à une phase de sommeil lent du fœtus, qui peut durer jusqu'à 40 minutes [4, 18, 24].

L'interprétation visuelle du rythme cardiaque fœtal a fait l'objet de plusieurs scores dont le plus utilisé est celui de Krebs-Fischer [25]. Dans le cadre de la surveillance d'une grossesse à haut risque fœtal, le calcul du score à intervalles réguliers et son inscription sur le dossier obstétrical permettent d'apprécier de manière plus objective ses variations. On sait en effet la haute valeur d'une dégradation brutale des paramètres pour un fœtus donné, le fœtus étant pris comme « son propre témoin » [26].

1.2. Limites de l'analyse visuelle

La lecture et l'interprétation visuelles du tracé exposent à des **variations importantes entre observateurs** [27]. Plus gênant encore, les mêmes observateurs à qui on a présenté les mêmes tracés à plusieurs semaines de distance ont interprété 28 % des tracés différemment d'une fois à l'autre [28]. Au quotidien, cette variabilité entraîne une méfiance des équipes sur la valeur du RCF comme moyen de repérage de la souffrance fœtale : les tracés les plus « difficiles » sont souvent montrés à plusieurs lecteurs afin d'essayer d'obtenir une interprétation — et une attitude — consensuelles. L'utilisation des scores n'atté-nue cette variabilité que de façon très partielle.

Chez les **fœtus d'âge gestationnel faible** (28 à 34 SA), le rythme cardiaque fœtal présente — de manière tout à fait physiologique — des particularités qui peuvent gêner considérable-ment l'interprétation :

– la **perte de signal est augmentée**, ce qui gêne l'inter-prétation des tracés. En cas de difficultés d'enregistrement avant 30 SA, il existe presque une fois sur deux un doute entre perte de signal et décélération fœtale [11];

– la **variabilité du tracé** est très amoindrie par rapport à ce qu'elle est à terme. Elle augmente en effet progressivement au cours du troisième trimestre. À 28 SA, elle est physiologiquement divisée par deux, principalement du fait d'une diminution des périodes consécutives passées en haute variation [6, 24];

– le **nombre d'accélération**s est physiologiquement doublé entre 28 et 41 SA, et c'est surtout pendant la période 28-34 SA que l'augmentation se réalise. Ainsi entre 28 et 33 SA, l'absence totale d'accélération fœtale pendant une heure concerne 8 % des fœtus bien portants. 8 % supplémentaires ne présentent qu'une seule accélération pendant l'heure d'enregistrement [6];

– la **fréquence du rythme cardiaque de base** est physiologiquement plus élevée aux âges gestationnels les plus faibles [30], ce qui peut donner lieu à des difficultés d'interprétation en cas de tachycardie modérée;

– le **nombre de décélérations** semble peu modifié par l'âge gestationnel mais peut concerner 7 % des fœtus sains [6, 30].

Ces particularités observées aux âges gestationnels les plus faibles sont bien connues des obstétriciens, qui essaient d'en tenir compte dans leur interprétation visuelle. Dans une population à haut risque fœtal, elles donnent cependant lieu à une séparation plus difficile entre RCF normaux et pathologiques. En pratique par exemple, l'embarras peut être grand en présence d'un rythme plat sur 50 % du tracé, sans accélération... Les scores existants — y compris celui de Krebs-Fischer — ne tiennent pas compte de l'âge gestationnel dans leur interprétation [8].

2. L'ANALYSE AUTOMATISÉE DU RCF

2.1. Le matériel

L'équipement comprend un cardiotocographe relié à un ordinateur (les deux capteurs sont placés sur l'abdomen de la patiente : le dynamomètre recueille les variations de la tonicité utéro-abdominale, le capteur Doppler enregistre les mouvements des valves cardiaques). Le cardiotocographe transmet les informations qu'il recueille à l'ordinateur. Celui-ci enregistre les données, réalise les calculs et affiche les résultats à l'écran en même temps que le tracé. En fin d'enregistrement, il imprime le tracé

(de manière compacte : 0,3 cm/min, largeur d'une feuille de format A4), ainsi que les résultats des derniers calculs (figures 1 à 4). Depuis peu, des modèles intégrés ont permis de diminuer le volume de l'appareillage et de le déplacer au lit des patientes. Le tracé se déroule alors à la vitesse classique de 1 cm/min.

2.2. L'analyse

Malgré l'imprécision relative de l'enregistrement ultrasonore par rapport à l'ECG fœtal direct — pratiquement inaccessible sans rupture des membranes —, les intervalles entre battements fœtaux sont calculés à la milliseconde près. Chaque durée et chaque fréquence « instantanées » correspondantes sont donc calculées. Cependant, il a été choisi par Dawes [1] de limiter l'information analysée à une succession d'« époques » de 3,75 secondes chacune (1/16^e de minute) pour lesquelles l'ordinateur retient seulement la durée moyenne des 7 à 10 battements observés pendant cette période ². En d'autres termes, au lieu de traiter l'ensemble des durées (au nombre approximatif de 115 à 160 par minute, par définition) l'ordinateur traite une série de 16 durées moyennes par minute, obtenues toutes les 3,75 secondes.

2.3. Les paramètres mesurés

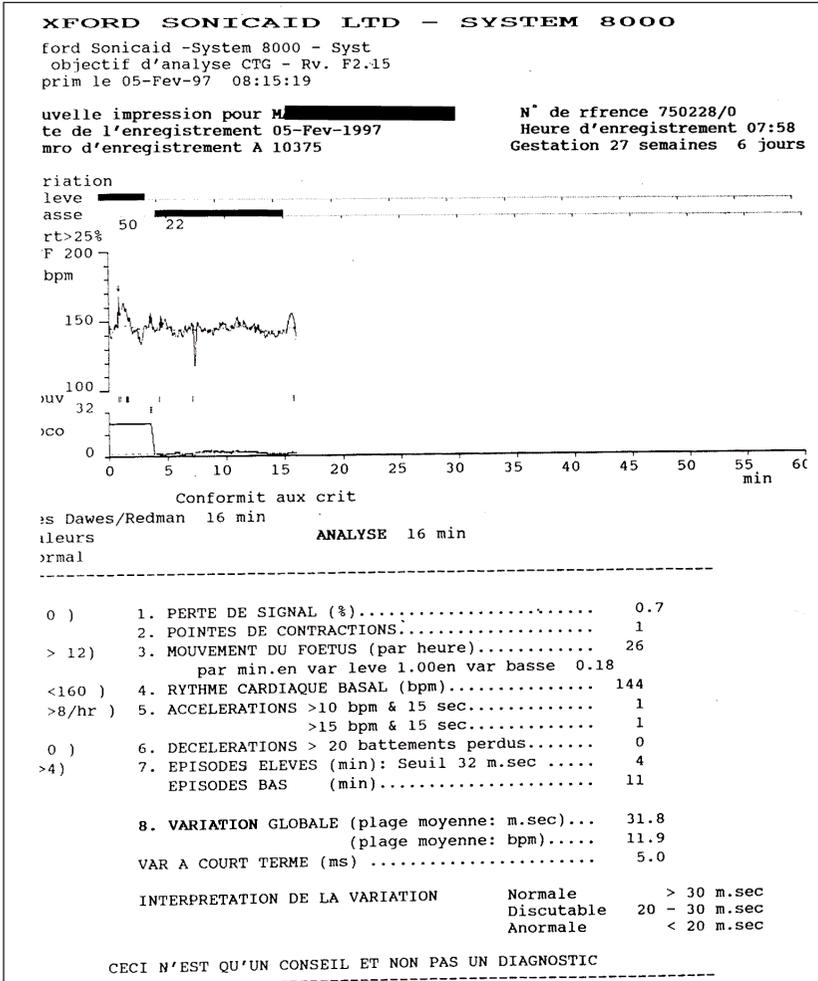
La ***perte de signal*** rassemble les « époques » de 3,75 secondes pour lesquelles aucune durée correcte n'est enregistrée. En cas de perte de signal supérieure à 30 % sur une période de 5 minutes, un signal visuel et auditif est émis, afin que le capteur soit replacé. Les pertes de signal interviennent également dans l'analyse du tracé, puisque les décélérations fœtales ne sont pas comptées si le pourcentage de battements perdus est supérieur à 50 % (la grande majorité de ces « décélérations » sont dues à des artefacts [11]).

2. Cette façon de faire a été choisie en 1979 afin de réduire la taille des données — d'un facteur 9 environ — et de minimiser les effets de la perte de signal sans compromettre la détection des changements brefs du RCF (petites accélérations et décélérations) [1].

SUBTIL & COLL.

Figure 1*

Tracé normal à 27 SA chez un fœtus porteur d'un RCIU < 3^e p

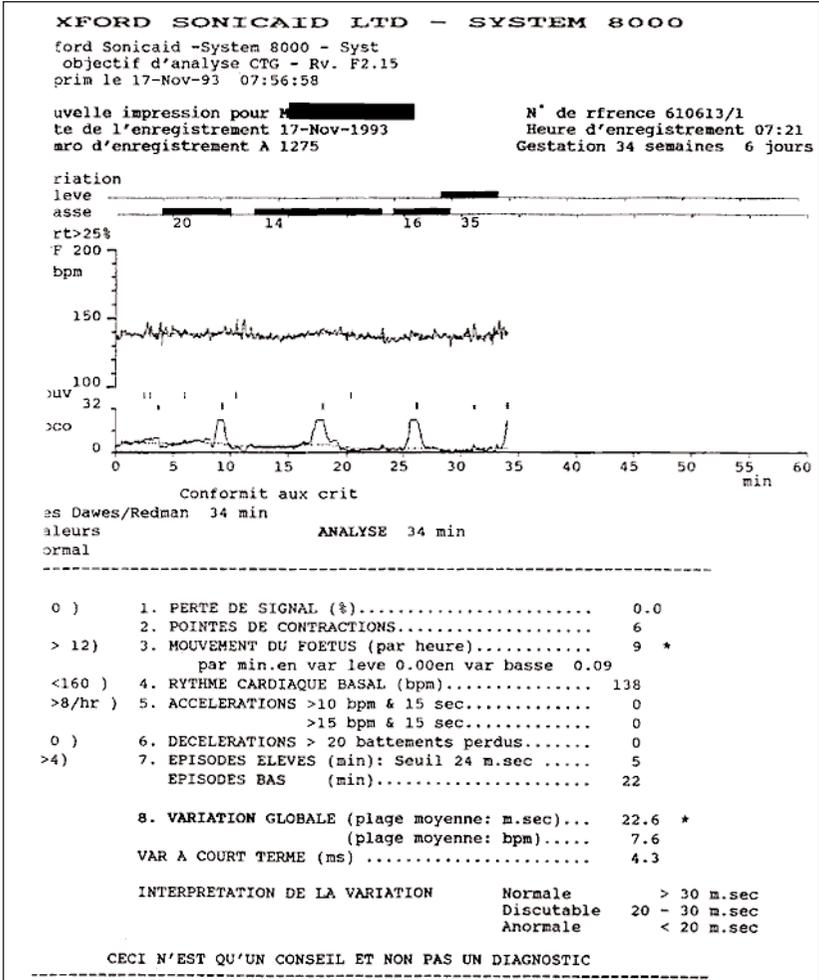


Les critères de Dawes et Redman sont validés dès 16 minutes. L'enregistrement peut être interrompu.

* Les anomalies d'impression, notamment les caractères manquants sur la marge gauche des documents, font partie des imperfections qui correspondent au vécu quotidien de l'analyse automatisée de l'Oxford (voir paragraphe inconvénients : maintenance et fragilité du système).

ANALYSE AUTOMATISÉE DU RCF

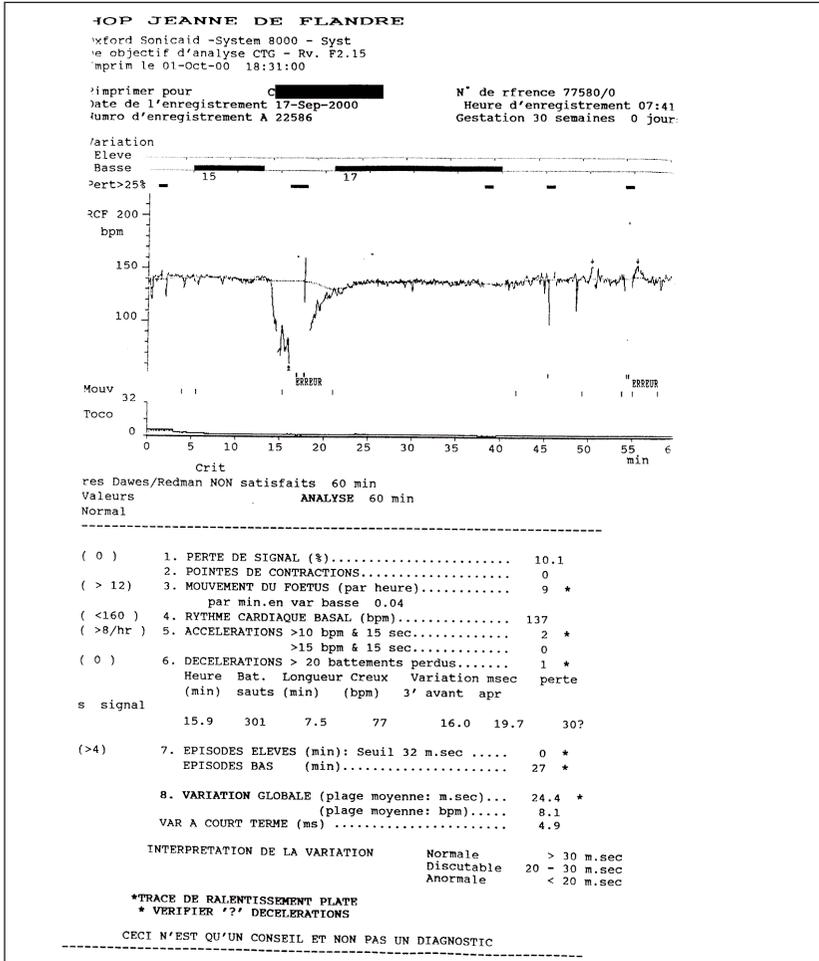
Figure 2
Tracé normal à 34 SA



Absence d'accélération, mouvements fœtaux en faible quantité et VLT basse à 22,6 ms. Il s'agit probablement d'un fœtus en état de sommeil car la survenue d'un épisode de variation élevée en fin de tracé - avec VLT à 35 ms (ligne noire supérieure) - valide les critères de Dawes et Redman. L'enregistrement peut être interrompu.

Figure 3

Tracé anormal à 30 SA chez un fœtus porteur d'un RCIU < 3^e p

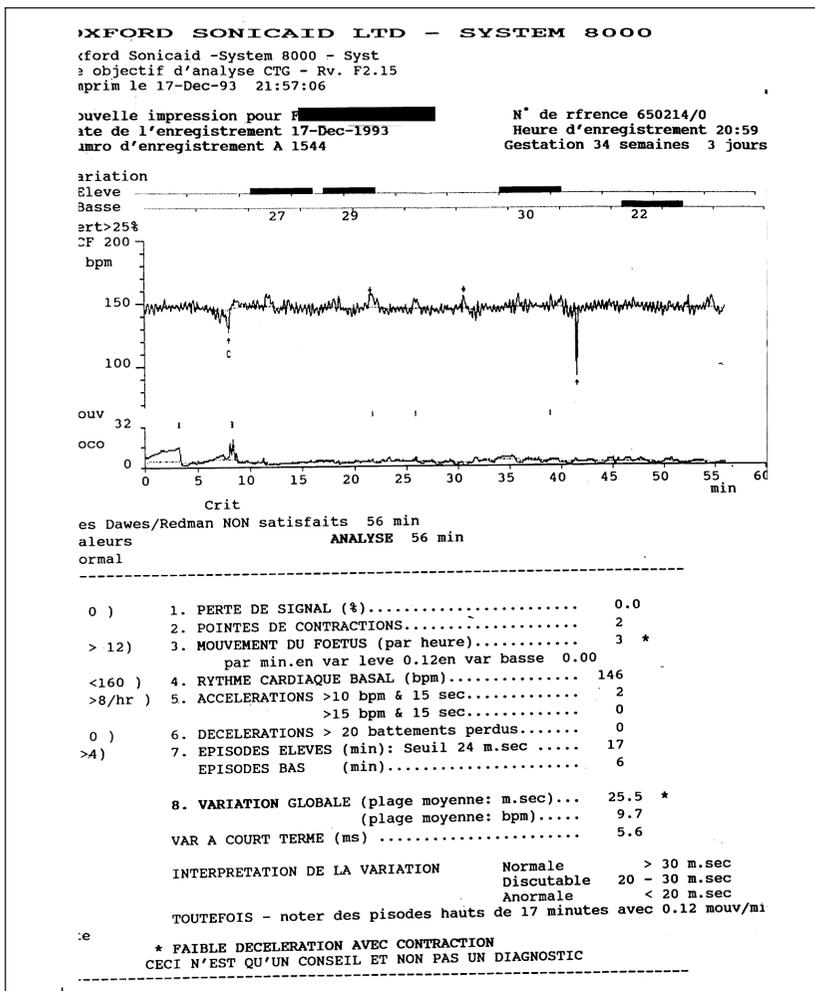


L'existence d'une forte décélération (7,5 min) fait que les critères de Daves et Redman ne sont pas satisfaits. L'enregistrement s'interrompt à 60 minutes (maximum de l'enregistrement). La variabilité globale (VLT) est basse (24,4 ms) et signalée par un astérisque, mais la présence d'une VLT à 4,9 ms est rassurante. Finalement, le risque d'acidose ou de décès in utero est faible. Le contexte et les critères de Daves et Redman non satisfaits imposent de continuer une surveillance importante, au minimum quotidienne. Noter plusieurs épisodes avec perte de signal supérieure à 25 %.

ANALYSE AUTOMATISÉE DU RCF

Figure 4

Tracé sinusoïdal chez une patiente dont le fœtus présente une ascite d'origine anémique à 34 SA (immunisation fœto-maternelle)



La VLT est basse (25,5 ms) mais la VCT est normale (5,6 ms). La nature pathologique du tracé n'est pas repérée par l'analyse automatisée. L'aspect d'un tracé de type sinusoïdal à la vitesse de 0,3 cm/min doit être connu des utilisateurs d'analyse automatisée (paragraphe 4.1.).

La **variabilité à long terme** (VLT) ou « *mean minute range* » mesure la variabilité globale du tracé telle que l'on peut l'observer à l'œil nu (amplitude des oscillations). Mathématiquement, il s'agit pour chaque minute du tracé de l'écart — en millisecondes (ms) — entre la plus haute et la plus basse des 16 valeurs de durée moyenne entre battements³. Les décélérations sont exclues de ces calculs, mais pas les accélérations. Une **valeur de VLT globale** est calculée à partir de la moyenne des VLT calculées pour chaque minute depuis le début du tracé.

Les seuils de normalité de la VLT ont été déterminés à partir de la distribution des VLT mesurées dans les grossesses normales. Le 3^e percentile correspond à 30 ms environ — à peu près 10 battements par minute (bpm)³ — et constitue la valeur au-dessus de laquelle la variabilité peut être considérée comme normale [16-18] (tableaux I et II). Le tracé doit être considéré comme douteux entre 20 et 30 ms (6,5 à 10 bpm), comme anormal en dessus de 20 ms (inférieur à 6,5 bpm) (avec un risque augmenté d'acidose fœtale), et comme très anormal en dessous de 15 ms (environ 5 bpm).

La **variabilité à court terme** (VCT) a été introduite dans l'algorithme du logiciel en 1983 (elle apparaît en 1991 dans les publications [13]) du fait de l'impossibilité de repérer les tracés plats avec larges sinusoides par la simple mesure de la VLT [13]. Mathématiquement, il s'agit de la moyenne — divisée par deux — des différences *successives* entre époques de 3,75 secondes adjacentes. Sa valeur moyenne est d'environ $7,8 \pm 3,0$ ms [13] (voir aussi tableau I). Elle est très corrélée à la VLT ($r = 0,9$ dans la série de Street [13]), mais sa valeur prédictive s'avère légèrement supérieure [13, 29]. Les appareils les plus récents d'analyse auto-

3. La fréquence cardiaque étant étudiée à partir de la durée entre battements, le programme travaille en millisecondes (ms). On retient qu'une minute égale 60 000 ms, donc une durée de 428 ms — par exemple — correspond à une fréquence cardiaque de $60\,000/428 = 140$ bpm (battements par minute). Une VLT de 30 ms correspond à un écart maximal de 30 ms entre la plus grande et la plus petite durée moyenne des 16 époques consécutives qui constituent une minute. Ces 30 ms correspondent environ à 7 bpm à une fréquence de 120 bpm, à 10 bpm à une fréquence de 140 bpm et à 13 bpm à une fréquence de 160 bpm. On retiendra 10 bpm en première approximation.

ANALYSE AUTOMATISÉE DU RCF

matérialisée du RCF indiquent la VCT mais pas la VLT. Compte tenu de la forte corrélation entre les deux paramètres, il est proposé de multiplier la VCT par 5,5 environ pour avoir une idée de la VLT (tableau I).

Tableau I
Valeurs de la VCT et de la VLT du RCF à 32 SA [18]

	VCT (ms)	VLT (ms)
Grossesses normales	8,1	44,4
Poids foetal < 3 ^e percentile	5,7	31,4
Hypoxémie chronique	3,7	20,6
« Pré-terminal »	≤ 3,0	[16,5] ¹
« Terminal »	≤ 2,6	

1. Valeur estimée par extrapolation (régression linéaire entre VCT et VLT). L'importante corrélation entre la VCT et la VLT ($r = 0,9$ [13]) fait qu'en multipliant la VCT par 5,5 environ, on obtient une estimation de la VLT.

Les valeurs normales de la VCT ont été définies à partir de populations à haut risque (retard de croissance intra-utérin (RCIU), prééclampsie, VLT < 30 ms) [13, 29]. Le critère de jugement a toujours été l'existence d'une souffrance périnatale, le plus souvent définie par des anomalies gazométriques néonatales. La limite au-dessus de laquelle la VCT devrait être considérée comme « normale » n'est pas définie avec précision. La plupart des auteurs considèrent la limite de 3,0 ms, mais Guzman est plus sévère (limite à 3,5 ms), arguant qu'un pH néonatal inférieur à 7,20 constitue déjà un début d'acidose. Pour Dawes, le fait qu'aucun décès in utero ne soit survenu parmi 37 fœtus à haut risque dont la dernière VCT était supérieure à 3,0 ms est très rassurant [17]. Une VCT comprise entre 2,6 et 3,0 ms élève en revanche le risque de décès ou d'acidose à 9 % dans sa série. En dessous de 2,6 ms, les risques sont majeurs (décès in utero ou acidose : 34 %) (tableau II) [17].

Les **épisodes de haute variation** du tracé sont définis par les parties du tracé où 5 minutes au moins parmi 6 consécutives ont une variabilité haute (> 32 ms, environ 11 bpm). À l'inverse, les **épisodes de basse variation** sont définis par les parties du tracé où 5 minutes au moins parmi 6 consécutives ont une variabilité basse (< 30 ms, environ 10 bpm) [9]. Ils sont imprimés sous

Tableau II

Risques d'acidose ou de mort in utero en fonction de la VCT lors du dernier tracé

(89 fœtus ayant eu une VCT < 3,0 ms lors de l'un des enregistrements anténatals (quel qu'il soit) d'après Dawes [17])

	N	Âge gestationnel moyen SA	Acidose néo-natale ¹ n (%)	Décès in utero n (%)	Risque d'acidose sévère ou de décès in utero %
> 3 ms ²	37	31,4	1 (3)	0 (0)	3 %
2,6 – 3 ms	23	31,5	1 (4)	1 (4)	9 %
< 2,6 ms	29	29,8	3 (10)	7 (24)	34 %

1 : déficit de base néonatal > 12 mM/l
2 : 8 fœtus avaient présenté transitoirement une VCT < 2,6 ms. Aucun décès in utero ni aucune acidose néonatale ne sont survenus chez ces fœtus.

la forme d'une ligne noire au-dessus du tracé. La valeur moyenne de la VLT de chaque épisode de haute ou de basse variation est donnée (en bpm) au dessus — ou au dessous, respectivement — de cette ligne (figures 1 à 4). Ces épisodes de haute et basse variation sont jugés comme essentiels par l'algorithme de Dawes et Redman (paragraphe 2.4 et tableau III). Guzman confirme la haute valeur de ce critère [29].

La détermination d'une **ligne de base** (figurée en pointillés sur le tracé) et le calcul d'une **fréquence moyenne de base** sont réputés comme étant l'opération la plus délicate de l'analyse automatisée. Il existe en effet des cas où l'ordinateur pourrait confondre

Tableau III

Critères de Dawes et Redman [26]

Le logiciel propose de stopper l'enregistrement lorsque tous ces critères sont présents en même temps.

<ul style="list-style-type: none"> - Il existe au moins un épisode de haute variation (au moins 5 minutes parmi 6 consécutives) - La fréquence de base moyenne est comprise entre 115 et 160 bpm - Il n'y a pas de « large décélération » (surface supérieure à 20 battements perdus) - La VLT moyenne est supérieure à 22 ms et la VCT moyenne supérieure à 3 ms - Tous les épisodes de haute variation ont une VLT au moins supérieure à 32 ms - La VCT est supérieure au 3^e percentile pour l'âge gestationnel - Il existe au moins un mouvement fœtal ou trois accélérations
--

des accélérations itératives sur fond de fréquence basale faible, avec des décélérations itératives sur fond de fréquence basale élevée. Cette détermination est nécessaire pour la recherche et la mesure de l'amplitude des décélérations et des accélérations. Lorsqu'il existe des épisodes de basse variation (< 30 ms), la **fréquence moyenne de base** correspond à la moyenne des fréquences observées. Lorsqu'il n'existe pas d'épisode de basse variation, il s'agit du pic modal des fréquences cardiaques (fréquence « la plus fréquente ») ou du pic de fréquence le plus bas si le spectre des fréquences est aplati, bimodal ou étalé vers la gauche [5].

Les **accélérations** fœtales sont définies par une augmentation de la fréquence cardiaque de plus de 10 bpm pendant au moins 15 secondes. Selon leur durée et leur intensité, les **décélérations** repérées sont courtes (diminution de 10 bpm pendant plus de 60 s, ou bien diminution de 20 bpm pendant plus de 30 s) ou bien larges (aire sous la ligne de base supérieure à 20 battements perdus [6]). Les accélérations et les décélérations dont le pourcentage de perte de signal est supérieur à 50 % sont éliminées des calculs [13].

Le nombre de **contractions utérines**, de **mouvements fœtaux** perçus par la mère, le **temps passé en haute et en basse variation** sont également indiqués par l'ordinateur et imprimés au bas du tracé.

2.4. Le « dialogue » entre l'ordinateur et l'obstétricien

À partir de 10 minutes d'enregistrement, le tracé et les paramètres sont affichés à l'écran toutes les deux minutes. Ils varient donc au cours du temps, et la valeur globale des paramètres — sur l'ensemble du tracé — est imprimée au moment de la fin de l'enregistrement.

L'ordinateur propose de **stopper l'enregistrement quand un certain nombre de critères satisfaisants sont réunis** (tableau III) [13, 26]. Il affiche alors le message « Critères de Dawes et Redman satisfaits » et on peut stopper l'enregistrement. L'impression papier est alors lancée et l'examen est terminé. Il est habituel de ne programmer un nouvel enregistrement que le lendemain — ou plus tard encore, selon le contexte obstétrical.

Si l'on décide de ne pas stopper l'enregistrement ou bien si les critères de Dawes et Redman ne sont pas satisfaits, l'enregistre-

ment se poursuit jusqu'à 60 minutes au maximum (il n'est pas possible de le prolonger au-delà). Le cas échéant, l'ordinateur affiche alors le message « Critères de Dawes et Redman non satisfaits ». Cette absence de « validation » ne signifie pas qu'il existe forcément une anomalie fœtale, mais que le fœtus doit faire l'objet d'une surveillance plus attentive, au moins quotidienne (dans la série de Mantel, 8 % des tracés réalisés chez des fœtus en bonne santé ne sont pas validés — principalement avant 30 SA [24]).

3. AVANTAGES DE L'ANALYSE AUTOMATISÉE

3.1. Principaux avantages

La prise en compte de l'âge gestationnel dans l'interprétation du tracé intervient à deux niveaux. D'une part, les normes de VCT prennent en compte l'âge gestationnel [30]. D'autre part, en mettant la variabilité comme critère prédominant de normalité, l'analyse automatisée du RCF permet de valider des tracés pour lesquels aucune accélération n'est survenue, ce qui est d'autant plus fréquent que l'âge gestationnel est plus faible. De la même façon, un tracé peut être validé alors que des décélérations sont survenues. En pratique, cet avantage est très appréciable pour l'interprétation du tracé des fœtus d'âge gestationnel faible.

La quantification des variables permet de laisser immédiatement une trace écrite — « objective » — de l'état de l'enfant tel qu'on l'a mesuré à un moment donné. Il s'agit d'un avantage énorme sur l'enregistrement classique, notamment dans les situations intermédiaires où le rythme « n'est pas parfait »⁴. Cette quantification a en outre de multiples avantages :

– **constituer une aide objective à la décision.** Cet avantage est essentiel en cas de faible âge gestationnel mais aussi à

4. Cet avantage est très appréciable en pratique dans les situations où il existe :
 – des décélérations isolées, dont le caractère physiologique est connu mais qui sont toujours génératrices d'angoisse pour les équipes ;
 – un rythme aplati et une absence d'accélération, notamment chez les fœtus d'âge gestationnel faible.

terme, chez les fœtus menacés (terme dépassé [31, 32]). L'affichage des valeurs normales (à la manière des résultats biologiques d'un laboratoire) et le fait que les **anomalies soient signalées par un ou deux astérisques** selon leur degré de gravité permettent de faire reposer les décisions sur des arguments objectifs. Il peut s'agir d'une aide pour les obstétriciens les plus jeunes, qui manquent d'expérience pour interpréter visuellement les tracés.

- de permettre la **comparaison des paramètres du bien être fœtal jour après jour**, en étudiant la détérioration progressive des paramètres, notamment chez les fœtus porteurs de RCIU. On a pu montrer en effet que la détérioration des paramètres pour un fœtus donné avait plus d'importance que leur valeur « un jour donné » (le fœtus doit être pris comme son propre témoin [26]). À partir de cinq tracés réalisés chez la même patiente, le logiciel permet d'automatiser cette procédure : un tableau synoptique appelé « **analyse de tendance** » peut être imprimé et il est possible d'obtenir une **courbe de l'évolution des principaux paramètres** (figure 5) [13, 18].

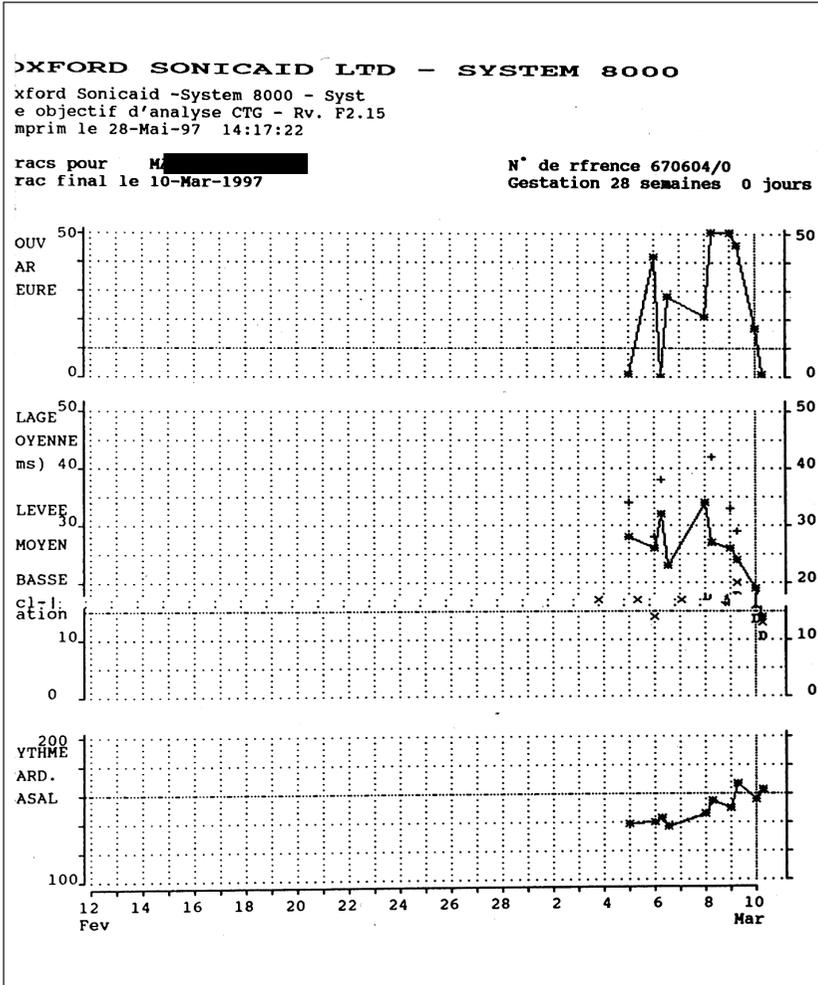
- en cas de nécessité, de permettre le **stockage des enregistrements sur support définitif** (CD Rom, disquette...) sous format original ou bien sous des formats utilisables pour des études rétrospectives ultérieures (ASCII, .DBF, .XLS...).

- de permettre la **réalisation d'études cliniques** où l'état fœtal fait partie des critères de jugement essentiels à prendre en compte. Depuis 1994 par exemple, l'ensemble des études destinées à mettre en évidence un effet de la corticothérapie anténatale sur la variabilité du rythme cardiaque fœtal a fait appel à l'analyse automatisée du RCF [33, 34].

- **d'envisager un jour une évaluation plus intéressante des anomalies du RCF** que celles qui ont été réalisées jusqu'ici. Le stockage des données dans de nombreux centres devrait permettre d'étudier un jour la liaison entre les anomalies objectives du RCF anténatal (VCT, VLT, temps passé en haute ou basse variation) et le **pronostic neurologique à distance**. À notre connaissance, ce type d'étude a été mené pour le score biophysique anténatal — bien que de manière indirecte [35] —, mais pas pour l'enregistrement du RCF. En outre, les valeurs normales et pathologiques de ces paramètres pourraient être réévaluées.

- de constituer une **trace écrite — quantifiée — dont la valeur médico-légale ne peut être ignorée**. Le logiciel permet d'ailleurs la réimpression du document d'analyse automatisée.

Figure 5
Tendance journalière de l'évolution du RCF
chez un fœtus porteur d'un RCIU à 28 SA.



On observe une diminution brutale des mouvements (en haut), une diminution progressive de la VLT (au milieu), et une élévation régulière du rythme cardiaque de base (en bas). La détérioration de ces signes – progressive et conjointe – chez un fœtus « pris comme son propre témoin » est en faveur d'une souffrance fœtale sous-jacente.

La limitation du nombre d'examens complémentaires; l'analyse automatisée permet de trouver un nombre discrètement plus élevé de tracés normaux que l'analyse visuelle. Surtout et de façon corollaire, elle permet de diminuer de façon très importante le nombre d'enregistrements ou d'examens complémentaires réalisés chez les fœtus examinés. Dans la série de Hiett, un nouvel enregistrement est recommandé chez 49 % des fœtus en cas d'analyse visuelle, alors que ce pourcentage est seulement de 9 % en cas d'analyse automatisée [32].

L'enregistrement à partir du domicile des patientes — avec interprétation automatisée à l'hôpital — constitue une amélioration importante par rapport aux systèmes de *télémonitoring* antérieurs. La qualité du tracé et l'interprétation sont identiques à ceux réalisés à l'hôpital, de telle manière que l'angoisse des patientes et des sages-femmes s'en trouve diminuée.

3.2 Autres avantages

La **durée de l'enregistrement** est d'autant plus courte que le fœtus est en bonne santé et que l'âge gestationnel augmente [24]. Elle est limitée à 10 minutes en cas de tracé satisfaisant, alors que 30 à 40 minutes sont jugées comme nécessaires avec l'ERCF classique. En pratique, la durée des enregistrements peut être limitée à 16 minutes en moyenne [18]. À l'inverse, le fait que les enregistrements soient **automatiquement prolongés** lorsque la variabilité est insuffisante — jusqu'à 60 minutes au maximum — simplifie le travail des sages-femmes. Le temps apparaît donc mieux géré dans la mesure où chaque fœtus bénéficie d'une durée d'enregistrement adaptée à son état. Au total, il existe une économie de temps importante [18].

Le **format d'impression** de l'enregistrement est une feuille de type A4, ce qui — avec l'habitude — n'en altère pas l'interprétation visuelle et a l'avantage d'en faciliter grandement le maniement : avis d'un collègue, télécopie avant ou pendant un transfert maternel, photocopie pour archivage. La diminution du poids et du volume du document est également très appréciable au quotidien.

Le fait que **l'âge gestationnel** — au jour près — soit rappelé sur l'impression est appréciable quand il s'agit de fœtus fra-

giles pour lesquels une décision d'extraction se pose jour après jour. Les heures d'enregistrement sont indiquées, ce qui permet de classer et d'archiver les documents sans difficulté a posteriori.

De la même façon, le **compte horaire de mouvements fœtaux** — ressentis par la mère et enregistrés par elle par un bouton à presser — est indiqué, et ce paramètre essentiel du bien-être fœtal peut être plus facilement intégré lors des décisions.

Le fait que le **pourcentage de battements perdus** soit affiché et qu'une mise en garde soit donnée en cas de pourcentage > 25 % est rassurant dans la mesure où elle invite clairement à refaire l'enregistrement à partir d'une certaine limite. Bien que ces pertes de signal soient plutôt le fait d'une très bonne vitalité fœtale (mouvements), elles peuvent masquer l'existence d'anomalies fœtales graves (signalons un cas de décès in utero avec perte de signal de 36 % dans l'une des séries de Dawes [18]). Le fait qu'un signal visuel et auditif soit émis lorsque le pourcentage de perte de signal est supérieur à 25 % améliore très significativement la qualité du tracé [18].

4. INCONVÉNIENTS DE L'ANALYSE AUTOMATISÉE

4.1. Principaux inconvénients

- **Opacité de l'algorithme, définition des critères de normalité**

L'analyse automatisée du RCF fait appel à un programme d'analyse dont **l'algorithme** semble inaccessible. Il est par exemple illusoire de vouloir recalculer la variabilité à court ou à long terme d'un enregistrement, et l'obstétricien est obligé de « faire confiance » à un résultat dont il est le plus souvent incapable d'expliquer dans les détails comment il a été obtenu. De plus, les publications manquent à notre avis de clarté en ce qui concerne la deuxième lecture du tracé lorsque la variabilité est faible au premier passage [9].

Par ailleurs, la majorité des **critères** que Dawes et Redman ont définis dans leur logiciel ont été choisis empiriquement — à partir de données dont certaines n'ont pas été publiées [5, 6, 8, 9, 11, 13]. La mise au point progressive du logiciel — avant sa commercialisation en 1989 — fait que certaines **définitions** sont modifiées au fur et à mesure des publications. Néanmoins, ces critiques s'appliquent

exactement de la même façon aux publications concernant l'analyse visuelle du RCF : les limites et les scores ont été définis empiriquement, et varient parfois d'une étude à l'autre [21-23].

• ***Tracés non repérés comme pathologiques (« faux négatifs »).***

Dans les premières publications de l'équipe de Dawes, il est difficile de connaître le risque de ***faux négatif*** de l'analyse automatisée (souffrance fœtale malgré un tracé normal, avec VLT > 30 ms) car les études se concentrent sur les fœtus ayant une VLT inférieure à 30 ms [10]. À partir de 1991 [13], des cas sont décrits où la VLT était normale mais le tracé très pathologique (rythme sinusoidal à larges oscillations). Dans ces cas, le tracé était caractéristique et la VCT franchement anormale. C'est pour cette raison que la VCT est désormais préférée à la VLT dans l'analyse automatisée. Même s'il est probable que de tels cas existent, on ne trouve pas de travaux relatant l'existence de morts in utero immédiatement après une VCT normale.

Par ailleurs, le ***caractère subjectif de la sensation de mouvements fœtaux*** peut être à l'origine d'erreurs d'interprétation de l'analyse automatisée. En effet, la présence d'un ou de plusieurs mouvements fœtaux « faussement ressentis » par la mère peut faire interrompre l'enregistrement (tableau III) alors que l'état fœtal est compromis — ces mouvements « faussement ressentis » pourraient concerner jusqu'à 30 % des mouvements enregistrés [24]. Un tel cas est rapporté dans la littérature : l'enregistrement avait duré 12 minutes, la VLT était rassurante (71 ms), mais la sensation — irréaliste — d'un mouvement fœtal avait fait valider et interrompre le tracé [18].

Enfin, ***certaines rythmes particuliers ne sont pas repérés comme anormaux*** par l'analyse automatisée. Il ne s'agit pas d'un réel handicap concernant le rythme saltatoire, dont la valeur pathologique est remise en question depuis longtemps. En revanche, ce problème est beaucoup plus préoccupant pour le ***rythme sinusoidal à petites oscillations qui n'est pas toujours repéré par l'analyse automatisée***. Quand il est permanent en effet, ce type de rythme peut être le signe d'une anémie et/ou d'une souffrance fœtale graves, justifiant une intervention immédiate. La VCT et la VLT pouvant être normales dans ce type de tracé, la seule manière d'en faire le diagnostic est d'en reconnaître le type sinusoidal caractéristique sur le tracé. Or ***l'aspect de ces sinusoides est très différent à la vitesse de***

0,3 cm/min de ce qu'il est à la vitesse de 1 ou 2 cm minute (figure 4). Bien que ceci soit rappelé dans la notice, la rareté et la gravité de ces tracés doivent à notre avis être **connues et largement enseignées**. Enfin et pour les mêmes raisons, les immunisations fœto-maternelles constituent à notre avis une indication discutable d'analyse automatisée du RCF [19].

• **Valeur prédictive du test.**

Le nombre de patientes incluses dans les séries de Dawes et collaborateurs (environ 20 000 enregistrements concernant plus de 4 000 patientes sur une période de 9 ans [18] dans un centre où la mortalité périnatale était voisine 10/1 000 : 1983-1992) apparaissent théoriquement suffisants pour calculer une sensibilité et des valeurs prédictives positives et négatives dont la valeur serait « universelle » [8, 17, 18]. En fait, seules les patientes à haut risque ont bénéficié d'analyse automatisée — parfois seulement celles qui ont une VCT ou une VLT basses [13, 17] — et il n'est pas possible de se faire une idée claire de ces valeurs à partir des publications, dont certaines reprennent d'ailleurs les effectifs de publications antérieures [17].

Seuls Hiatt [32] puis Guzman [29] indiquent une valeur prédictive de l'analyse automatisée dans des populations à haut risque :

– une sensibilité et spécificité respectives de 13 et 92 % dans une population de 575 patientes « à haut risque » pour Hiatt, avec des valeurs prédictives positive et négative de 26 et 82 % en ce qui concerne une issue de grossesse défavorable (acidose fœtale, Apgar < 7 à 5 minutes ou admission en réanimation) [32];

– une sensibilité et spécificité respectivement de 100 % et 80 %, valeurs prédictives positive et négative de 57 et 100 % pour une acidose fœtale avec pH < 7.20 pour Guzman, dans une population de 38 fœtus porteurs de RCIU. Il faut signaler que le seuil de la VCT dans cette série est à 3,5 ms (et non 3,0 comme cela est le cas dans la plupart des études) [29].

4.2. Autres inconvénients

Inconvénients dus à l'algorithme

Le fait que certains résultats soient donnés en millisecondes et non en battements par minute est difficile à interpréter pour les cliniciens. On trouve cependant un ordre d'idée des correspondances dans le paragraphe 2.3 (voir également note 3, en bas de page 150).

L'information recueillie est limitée à des époques de 3,75 secondes, ce qui constitue une importante perte d'information (réduite par un facteur 9, paragraphe 2.2). La VCT est souvent interprétée comme étant la variation « instantanée » du tracé, alors qu'elle n'en est en fait qu'une grossière approximation⁵. Alors que Dawes était limité par la puissance des ordinateurs qu'il utilisait [1], l'augmentation actuelle des capacités de traitement informatique permettrait sans doute un traitement plus complet de toutes les durées de battement à battement (et un calcul de la variabilité de battement à battement réelle). On peut espérer que les possibilités diagnostiques d'un tel traitement du signal seraient supérieures — sans certitude cependant — mais tout l'algorithme et les normes du logiciel devraient être revus.

L'affichage de VCT et de la VLT — recalculées toutes les 2 minutes — peut parfois surprendre, car des valeurs très en dessous de la normale peuvent momentanément s'afficher malgré une validation des critères de Dawes et Redman au final (ceci est dû aux variations selon la phase veille/sommeil du fœtus).

Dans les logiciels les plus récents, la disparition de la VLT globale nous semble un inconvénient important, notamment pour les travaux de recherche.

Améliorations souhaitables du logiciel

Le logiciel distribué actuellement manque de certaines fonctionnalités qui pourraient en améliorer l'utilisation et l'exploitation. Actuellement, la recherche d'un tracé antérieur ou d'une tendance sur plusieurs jours (figure 5) passe par la connaissance d'un numéro d'identification de la patiente (choisi par l'équipe obstétricale pour chaque patiente). Il est indispensable qu'une ***stratégie d'indexation*** soit mise au point par le service qui veut pouvoir utiliser ses tracés à des fins de recherche (sous peine de perdre les données stockées sur de nombreuses disquettes, parfois illisibles plusieurs années après l'enregistrement).

5. La variation de battement à battement est tantôt gravement surestimée, tantôt sous-estimée. La distorsion entre VCT et variation de battement à battement est d'ailleurs aggravée par l'autocorrélation, destinée à diminuer le pourcentage de perte de signal (les battements perdus sont remplacés par des valeurs estimées) [7, 9, 13].

La recherche immédiate des tracés par nom, par date, voire par valeur de VCT — ou même par pathologie — devrait être développée. Lors de la recherche de tendances, il devrait être possible de demander la tendance de toutes les variables (VLT, VCT, accélérations, décélérations, période de haute et basse variation...) alors que les demandes actuelles sont prédéfinies. L'export de données sous forme aisément utilisable (ASCII, .XLS, .DBF...) devrait être possible à tout moment, afin d'aider la réalisation d'études pour une patiente particulière ou pour un ensemble de patientes.

Problèmes logistiques

L'avènement d'un matériel utilisable au lit des patientes⁶ — sans déplacement vers l'ensemble ordinateur-imprimante-cardioto-cographe — est un progrès récent important. Ce matériel compact permet seulement de conserver une trace des enregistrements les plus récents (six heures de tracé au total). De ce fait, le transfert des données sur unité centrale est nécessaire si l'on veut garder une trace informatique définitive de tous les tracés : il s'agit de manœuvres supplémentaires un peu fastidieuses. Enfin, la fragilité relative du système global demande une maintenance plus importante que celle des moniteurs « classiques » utilisés depuis des décennies. En effet, cette maintenance concerne à la fois les moniteurs, l'ordinateur, l'imprimante et les systèmes de sauvegarde (disquettes...).

5. VALEUR MÉDICO-LÉGALE

Dawes et son équipe restent prudents quant aux conséquences que pourrait avoir la lecture « aveugle » des résultats de leur logiciel. Ils précisent en effet qu'il doit exister une interaction entre le logiciel et la sage-femme qui effectue l'enregistrement (remplacement du capteur en cas de perte de signal). Par ailleurs et surtout, **le tracé doit être regardé**, et le compte rendu de l'analyse informatisée doit être interprété en fonction du contexte. Ceci est rappelé dans les comptes rendus qui précèdent : « Ceci n'est qu'un conseil, non pas un diagnostic ». En 1982,

6. TEAMCARE du système Oxford 8002.

Dawes précise d'ailleurs en fin d'article « ne pas prétendre donner un résultat satisfaisant dans toutes les circonstances » [5].

En cas d'issue défavorable de la grossesse, on pourrait imaginer que les responsabilités respectives de l'obstétricien et de la société qui commercialise le procédé soient respectivement débattues. En fait, il nous semble que ce problème n'est pas spécifique au RCF et s'applique à tous les matériels d'analyse biologique : dans ces cas, le respect des normes de qualité de l'appareil revient au constructeur, mais la connaissance de la littérature médicale et des limites de l'interprétation reviennent aux utilisateurs.

6. ANALYSE « CLASSIQUE » OU ANALYSE AUTOMATISÉE ? CONCLUSION

L'étude comparative entre analyse visuelle et analyse automatique du RCF menée par Hiett [32] ne montre pas de différence de sensibilité entre les deux méthodes, et le diagnostic de souffrance fœtale semble identique quelle que soit la méthode utilisée. De façon complémentaire, et en focalisant l'étude sur les fœtus nés par césarienne et dont la VLT était inférieure à 22 ms, Dawes avait montré qu'il n'y a pas de différence entre le pourcentage de tracés avec VCT anormale entre les groupes *tracé seul* vs *tracé + analyse automatisée* [18]. Cela n'est pas tellement étonnant dans la mesure où la VLT n'est qu'une mesure objective de la variabilité visible à l'œil nu — normale au-delà de 10 bpm, c'est-à-dire environ 30 ms — et que la VCT et VLT sont très liées ($r = 0,9$ [13]). Au vu de ces études, et bien qu'on puisse regretter qu'elles soient si peu nombreuses, ***il n'est donc pas certain que l'analyse automatisée soit capable de mieux repérer les fœtus à risque de souffrance fœtale que ne le fait l'analyse visuelle.***

Cependant, l'analyse automatique apporte ***un confort et une économie très appréciables*** par rapport à l'analyse visuelle puisque — dans la série de grossesses à risque de Hiett [32], corroborée par notre expérience -, un nouvel enregistrement est recommandé chez 49 % des fœtus en cas d'analyse visuelle, mais seulement 9 % en cas d'analyse automatisée. Comme nous l'avons expliqué plus haut, cet avantage est particulièrement appréciable aux âges gestationnels les plus faibles. L'analyse

s'applique particulièrement aux **situations de risque fœtal connu** (RCIU, diminution des mouvements actifs, terme dépassé) dans lesquelles les critères objectifs de bien-être fœtal sont recherchés [26].

Tous les avantages cités plus haut (amélioration de l'objectivité, économie de temps, amélioration du tracé par remplacement du capteur, analyse des tendances sur plusieurs jours, validation du tracé malgré l'absence d'accélération ou la présence de décélérations, possibilité d'étudier les tracés a posteriori et de réaliser des études de recherche clinique à grande échelle) apparaissent largement supérieurs aux inconvénients que nous avons signalés et qui tiennent principalement :

- aux **limites de l'algorithme**, d'où l'importance :
 - de préférer la VCT à la VLT, même si elle n'est qu'un reflet très éloigné de la variabilité de battement à battement ;
 - de regarder le tracé et d'apprécier le contexte. La possibilité en particulier d'un rythme sinusoïdal à VLT et VCT normales doit être parfaitement connue.

– aux **limites de la valeur du RCF** lui-même. L'analyse automatisée n'échappe pas aux deux critiques majeures que l'on peut faire au RCF en général :

- les modifications du RCF sont tardives dans l'histoire de la souffrance fœtale : il s'agit d'un mauvais outil pour dépister la souffrance fœtale et la mort in utero dans les populations à bas risque [8] ;
- la question de savoir à partir de quel moment — quelles valeurs de VCT? — le fœtus devient à haut risque de troubles du développement neurologique n'est pas résolue. Les études qui concernent l'analyse visuelle et l'analyse automatisée ont utilisé des critères cliniques et/ou gazométriques, anténataux [12, 16] ou bien néo-nataux [10, 13, 17, 29], qui sont très imparfaits pour prédire la survenue de troubles ultérieurs du développement [36].

En ce sens, l'utilisation de l'analyse automatisée du RCF devrait inciter à réaliser de nouvelles études rétrospectives, où le critère de jugement serait le développement des enfants (à l'âge de deux ans au moins). La valeur de VCT au-dessous de laquelle il conviendrait de ne pas descendre n'est toujours pas connue : l'absence d'acidose ou de mort in utero de la série de Dawes [17] ne signifie pas l'absence de séquelles d'origine anoxique [36].

Résumé

L'analyse anténatale et automatisée du rythme cardiaque fœtal (RCF) repose sur l'emploi d'un matériel à peine plus sophistiqué que celui qui est utilisé pour l'analyse visuelle. Elle donne lieu à des mesures objectives et écrites des différents éléments du RCF : fréquence de base, variabilité à long terme, variabilité à court terme, périodes continues de haute ou de basse variabilité, nombre d'accélération ou de décélérations fœtales. Les anomalies sont signalées par un astérisque. À l'inverse, l'enregistrement peut être arrêté dès que les critères de bien-être fœtal définis par Dawes et Redman sont présents.

Il n'y a aucune preuve que l'analyse automatisée ait une meilleure sensibilité que l'analyse visuelle dans le dépistage de la souffrance fœtale. En revanche, en dépistant rapidement les fœtus à faible risque d'acidose ou de décès in utero, elle apporte un confort et une économie appréciables dans le suivi des fœtus à risque, même en l'absence d'accélération ou en présence de décélérations. Elle permet de faire reposer les attitudes obstétricales sur des critères fiables et vérifiables a posteriori, et de limiter la durée de l'examen à 16 minutes en moyenne. Ces avantages sont particulièrement intéressants chez les fœtus à risque d'hypoxie (RCIU, diminution des mouvements actifs, terme dépassé) et surtout en cas d'âge gestationnel faible. On peut souhaiter que l'utilisation a posteriori des données informatisées soit facilitée par des améliorations ultérieures du logiciel. L'analyse anténatale et automatisée du RCF devrait en particulier aider à l'étude des facteurs qui influencent le pronostic des enfants à long terme

Bibliographie

1. Dawes GS, Visser GH, Goodman JD, Levine DH. Numerical analysis of the human fetal heart rate: modulation by breathing and movement. *Am J Obstet Gynecol* 1981; 140: 535-44.
2. Visser GH, Dawes GS, Redman CW. Numerical analysis of the normal human antenatal fetal heart rate. *Br J Obstet Gynaecol* 1981; 88: 792-802.
3. Dawes GS, Visser GH, Goodman JD, Redman CW. Numerical analysis of the human fetal heart rate: the quality of ultrasound records. *Am J Obstet Gynecol* 1981; 141: 43-52.
4. Visser GH, Goodman JD, Levine DH, Dawes GS. Diurnal and other cyclic variations in human fetal heart rate near term. *Am J Obstet Gynecol* 1982; 142: 535-44.
5. Dawes GS, Houghton CR, Redman CW. Baseline in human fetal heart-rate records. *Br J Obstet Gynaecol* 1982; 89: 270-5.
6. Dawes GS, Houghton CR, Redman CW, Visser GH. Pattern of the normal human fetal heart rate. *Br J Obstet Gynaecol* 1982; 89: 276-84.
7. Lawson GW, Belcher R, Dawes GS, Redman CW. A comparison of ultrasound (with autocorrelation) and direct electrocardiogram fetal heart rate detector systems. *Am J Obstet Gynecol* 1983; 147: 721-2.
8. Lawson GW, Dawes GS, Redman C. Analysis of fetal heart rate on-line at 32 weeks gestation. *Br J Obstet Gynaecol* 1984; 91: 542-50.
9. Dawes GS, Redman CW, Smith JH. Improvements in the registration and analysis of fetal heart rate records at the bedside. *Br J Obstet Gynaecol* 1985; 92: 317-25.
10. Smith JH, Dawes GS, Redman CW. Low human fetal heart rate variation in normal pregnancy. *Br J Obstet Gynaecol* 1987; 94: 656-64.
11. Dawes GS, Moulden M, Redman CW. Limitations of antenatal fetal heart rate monitors. *Am J Obstet Gynecol* 1990; 162: 170-3.
12. Visser GH, Sadovsky G, Nicolaides KH. Antepartum heart rate patterns in small-for-gestational-age third-trimester fetuses: correlations with blood gas values obtained at cordocentesis. *Am J Obstet Gynecol* 1990; 162: 698-703.
13. Street P, Dawes GS, Moulden M, Redman CW. Short-term variation in abnormal antenatal fetal heart rate records. *Am J Obstet Gynecol* 1991; 165: 515-23.
14. Dawes GS, Rosevear SK, Pello LC, Moulden M, Redman CW. Computerized analysis of episodic changes in fetal heart rate variation in early labor. *Am J Obstet Gynecol* 1991; 165: 618-24.
15. Pello LC, Rosevear SK, Dawes GS, Moulden M, Redman CW. Computerized fetal heart rate analysis in labor. *Obstet Gynecol* 1991; 78: 602-10.
16. Ribbert LS, Snijders RJ, Nicolaides KH, Visser GH. Relation of fetal blood gases and data from computer-assisted analysis of fetal heart rate patterns in small for gestation fetuses. *Br J Obstet Gynaecol* 1991; 98: 820-3.
17. Dawes GS, Moulden M, Redman CW. Short-term fetal heart rate variation, decelerations, and umbilical flow velocity waveforms before labor. *Obstet Gynecol* 1992; 80: 673-8.
18. Dawes GS, Lobb M, Moulden M, Redman CW, Wheeler T. Antenatal cardiocogram quality and interpretation using computers. *Br J Obstet Gynaecol* 1992; 99: 791-7.
19. Economides DL, Selinger M, Ferguson J, Howell PJ, Dawes GS, Mackenzie IZ. Computerized measurement of heart rate variation in fetal anemia caused by rhesus alloimmunization. *Am J Obstet Gynecol* 1992; 167: 689-93.
20. Westgate J, Harris M, Curnow JS, Greene KR. Plymouth randomised trial of cardiocogram only versus ST waveform plus cardiocogram for intrapartum monitoring in 2400 cases. *Am J Obstet Gynecol* 1993; 169: 1151-60.
21. Breart G, Goupil F, Legrand H, Vaquier J, Rochart F, Milliez J, Sureau C. Antepartum fetal heart rate monitoring. A semi-quantitative evaluation of the 'non-stressed' fetal heart rate. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol* 1981; 11: 227-37.
22. Goupil F, Legrand H, Vaquier J, Breart G, Milliez J, Rochart F, Sureau C.

ANALYSE AUTOMATISÉE DU RCF

- Antepartum fetal heart rate monitoring. II. Deceleration patterns. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol* 1981; 11: 239-49.
23. Milliez J, Legrand H, Goupil F, Vaquier J, Rochart F, Breart G, Sureau C. Antepartum fetal heart rate monitoring. III. Fetal movements and accelerations in fetal heart rate. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol* 1981; 11: 251-61.
24. Mantel R, Van Geijn HP, Ververs IA, Colenbrander GJ, Kostense PJ. Automated analysis of antepartum fetal heart rate in relation to fetal rest-activity states: a longitudinal study of uncomplicated pregnancies using the Sonicaid System 8000. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol* 1997; 71: 41-51.
25. Krebs HB, Petres RE. Clinical application of a scoring system for evaluation of antepartum fetal heart rate monitoring. *Am J Obstet Gynecol* 1978; 130: 765-72.
26. Farmakides G, Weiner Z. Computerized analysis of the fetal heart rate. *Clin Obstet Gynecol* 1995; 38: 112-20.
27. Gagnon R, Campbell MK, Hunse C. A comparison between visual and computer analysis of antepartum fetal heart rate tracings. *Am J Obstet Gynecol* 1993; 168: 842-7.
28. Borgatta L, Shrout PE, Divon MY. Reliability and reproducibility of nonstress test readings. *Am J Obstet Gynecol* 1988; 159: 554-8.
29. Guzman ER, Vintzileos AM, Martins M, Benito C, Houlihan C, Hanley M. The efficacy of individual computer heart rate indices in detecting acidemia at birth in growth-restricted fetuses. *Obstet Gynecol* 1996; 87: 969-74.
30. Snijders RJ, McLaren R, Nicolaidis KH. Computer-assisted analysis of fetal heart rate patterns at 20-41 weeks' gestation. *Fetal Diagn Ther* 1990; 5: 79-83.
31. Weiner Z, Farmakides G, Schulman H, Kellner L, Plancher S, Maulik D. Computerized analysis of fetal heart rate variation in postterm pregnancy: prediction of intrapartum fetal distress and fetal acidosis. *Am J Obstet Gynecol* 1994; 171: 1132-8.
32. Hiett AK, Devoe LD, Youssef A, Gardner P, Black M. A comparison of visual and automated methods of analysing fetal heart rate tests. *Am J Obstet Gynecol* 1993; 168: 1517-21.
33. Magee LA, Dawes GS, Moulden M, Redman CW. A randomised controlled comparison of betamethasone with dexamethasone: effects on the antenatal fetal heart rate. *Br J Obstet Gynaecol* 1997; 104: 1233-8.
34. Senat MV, Minoui S, Multon O, Fernandez H, Frydman R, Ville Y. Effect of dexamethasone and betamethasone on fetal heart rate variability in preterm labour: a randomised study. *Br J Obstet Gynaecol* 1998; 105: 749-55.
35. Manning FA, Bondaji N, Harman CR, Casiro O, Menticoglou S, Morrison I, Berck DJ. Fetal assessment based on fetal biophysical profile scoring. VIII. The incidence of cerebral palsy in tested and untested perinates. *Am J Obstet Gynecol* 1998; 178: 696-706.
36. Behnke M, Eyler FD, Conlon M, Woods NS, Thomas VJ. The relationship between umbilical cord and infant blood gases and developmental outcome in very low birth weight infants. *Clin Obstet Gynecol* 1993; 36: 73-81.