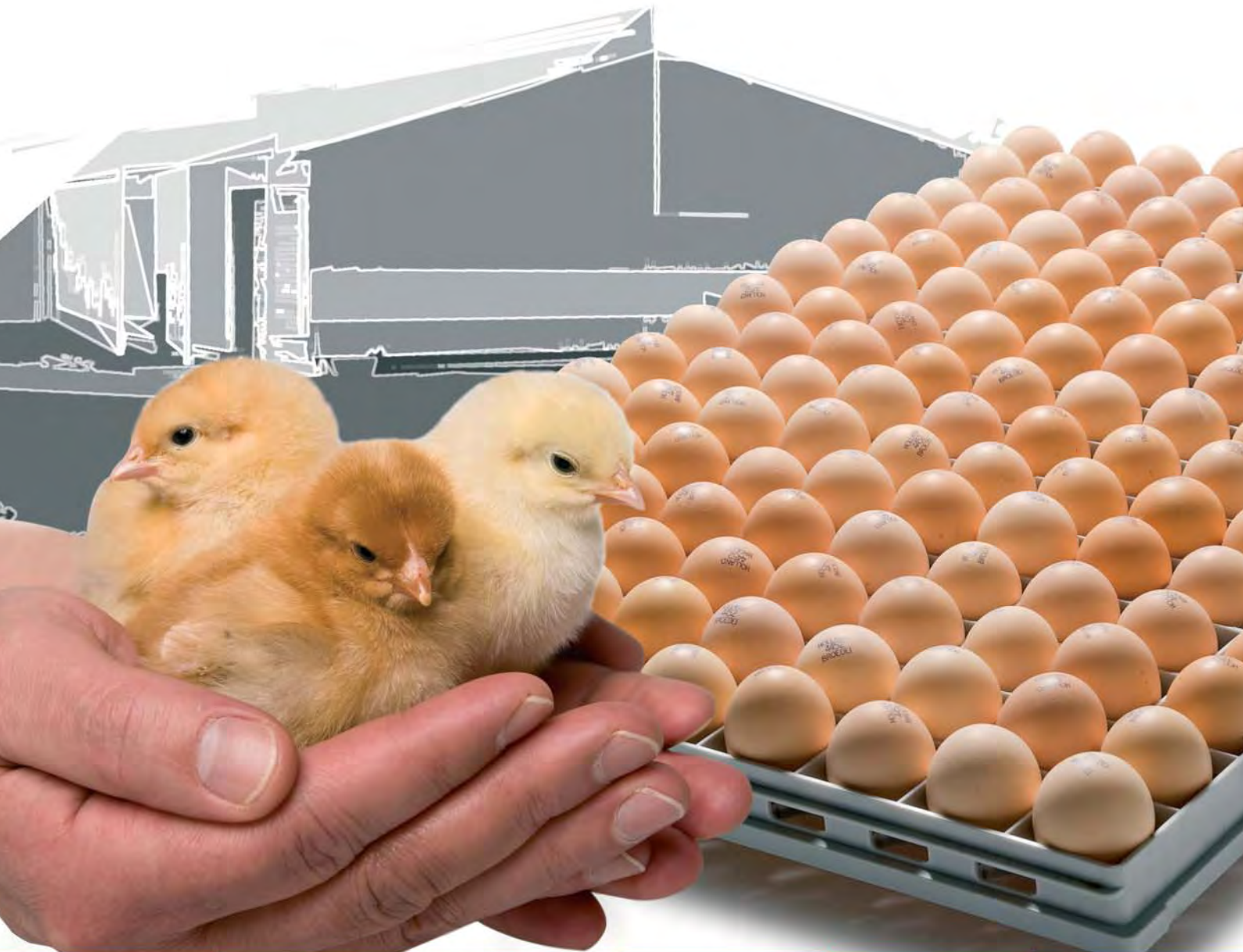


# Guide Incubation

**Hubbard**  
YOUR CHOICE, OUR COMMITMENT



**Hubbard**  
YOUR CHOICE, OUR COMMITMENT



<b>L'ŒUF À COUVER</b>	<b>4</b>
➔ Caractéristiques de l'œuf à couvrir	4
➔ Tri des œufs à couvrir	5
➔ Désinfection des œufs	8
<b>STOCKAGE DES ŒUFS</b>	<b>12</b>
➔ De l'ovulation à l'oviposition	12
➔ Pré-incubation (PRESI)	14
➔ Conséquences physico-chimiques du stockage	15
➔ Conditions de stockage	18
➔ Recommandations	21
➔ Effets du stockage sur les temps d'incubation	21
<b>INCUBATION</b>	<b>23</b>
➔ Le préchauffage	23
➔ Température d'incubation	24
➔ Humidité d'incubation	33
➔ Le retournement	35
➔ Le CO <sub>2</sub>	37
➔ Taux de remplissage des machines	39
➔ Désinfection au cours de l'incubation	40
➔ Paramètres d'ambiance des salles d'incubation	40
<b>TRANSFERT</b>	<b>41</b>
➔ Paramètres d'ambiance de la salle de transfert	41
<b>ÉCLOSION</b>	<b>42</b>
➔ Température d'éclosion	42
➔ Humidité d'éclosion	43
➔ Le CO <sub>2</sub>	43
➔ La fenêtre d'éclosion	44
➔ La durée totale d'incubation	45
➔ Désinfection au cours de l'éclosion	46
➔ Paramètres d'ambiance des salles d'éclosion	46
<b>QUALITÉ DU POUSSIN</b>	<b>47</b>
➔ La longueur du poussin	47
➔ Le Pasgar <sup>®</sup> Score	48
<b>ANALYSE DES CAUSES DE MORTALITÉ EMBRYONNAIRE</b>	<b>51</b>
<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	<b>57</b>
<b>NOTES</b>	<b>61</b>

**Note :** Les données de performances fournies dans ce document ont été établies à partir de notre expérience et des résultats obtenus de nos propres animaux d'expérimentation et des animaux de notre clientèle. Les données de ce document ne sauraient en aucun cas garantir l'obtention des mêmes performances dans des conditions de nutrition, de densité ou d'environnement physique ou biologique différentes. En particulier (mais sans limitation de ce qui précède), nous ne donnons aucune garantie d'adéquation au but, à la performance, à l'usage, à la nature ou à la qualité des animaux. Hubbard ne fait aucune déclaration quant au caractère précis ou complet des informations contenues dans ce document.

# L'ŒUF À COUVER

La qualité du poussin d'un jour dépend en grande partie de celle de l'œuf à couver. Il convient donc de s'assurer que, pendant toutes les étapes de l'élevage des reproductrices, tous les efforts nécessaires sont mis en place pour garantir une qualité optimale des œufs.

## ➔ CARACTÉRISTIQUES DE L'ŒUF À COUVER

### ➔ Constituants de l'œuf et facteurs de variation.

La composition en macro-constituants de l'œuf (eau, protéines et acides aminés, lipides totaux et macro-minéraux) est peu dépendante de l'ingéré alimentaire. À l'inverse les oligo-éléments minéraux et vitaminiques, et les acides gras des lipides, varient en fonction de la nature des aliments ingérés.

Ainsi, alors qu'une situation de carence nutritionnelle pourra entraîner une altération de la quantité de macro-constituants déposés dans l'œuf, une alimentation trop riche en protéines ou calcium par exemple, n'entraînera pas forcément une meilleure qualité du poussin ou de la coquille.

Il en va autrement pour les micro-constituants : la teneur de l'œuf en vitamines (en particulier les vitamines A, D et certaines vitamines du groupe B) est étroitement liée à l'ingéré alimentaire. Il convient donc de s'assurer que les besoins nutritionnels, en particulier en ces vitamines, sont pleinement satisfaits.

Il en est de même pour les acides gras : une alimentation trop riche en acides gras saturés pourra entraîner une diminution des dépôts d'acides gras insaturés et compromettre ainsi le bon déroulement du développement embryonnaire.

Seul l'âge du troupeau altère de façon significative la teneur en macro-constituants de l'œuf. Au fur et à mesure que le lot vieillit, la part du jaune augmente et celle du blanc diminue. Il en va de même pour les macro-constituants de l'un et de l'autre.

Ceci met en évidence l'importance d'une bonne maîtrise de l'âge à la maturité sexuelle : des pontes trop précoces entraînent souvent des poids d'œufs insuffisants, une plus faible quantité de macro-constituants déposés dans l'œuf et, par conséquent, une moins bonne qualité des poussins.

### ➔ Qualité sanitaire de l'œuf.

La qualité sanitaire d'un œuf est le reflet du statut sanitaire du troupeau dont il provient et de son environnement immédiat une fois qu'il est pondu. Il convient donc de s'assurer que les œufs à couver sont issus de lots :

- ◆ Indemnes de maladies transmissibles verticalement.
- ◆ Exempts d'affections pouvant affecter l'appareil reproducteur.
- ◆ Ne présentant pas de troubles de la digestion pouvant compromettre l'assimilation des nutriments nécessaires à la formation de l'œuf.
- ◆ Ne souffrant pas d'affections respiratoires pouvant altérer le pH sanguin donc le transport et dépôt des constituants de l'œuf.

Il en va de même pour les nids :

### Pour les nids manuels, leur garniture :

- ◆ Devra provenir d'une source sûre et sera, de préférence, désinfectée dès son arrivée en zone de stockage.
- ◆ Sera stockée dans un endroit sec, à l'abri des rayons solaires et de la pluie, et bien ventilé.
- ◆ Sera protégée de toute source possible de contamination (oiseaux sauvages, rongeurs, etc.).

Une fois placée dans les nids, on veillera à :

### L'ŒUF À COUVER

- ◆ La désinfecter (1 cuillère à soupe – 5 à 10 grammes – de poudre de para-formaldéhyde tous les 15 jours, par exemple).
- ◆ La remplacer tous les 2 ou 3 mois.

#### Les nids automatiques :

- ◆ Devront être protégés des souillures par la mise en place d'un système d'éjection des poules, la nuit.
- ◆ Devront être lavés et désinfectés régulièrement (y compris le tapis collecteur).
- ◆ Remplacer les tapis dès usure anormale.

### ➔ TRI DES ŒUFS À COUVER

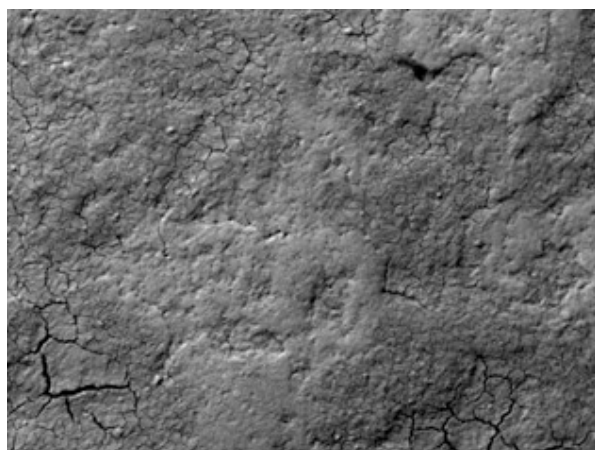
On verra par la suite à quel point la qualité de la coquille et le poids de l'œuf sont importants dans la détermination des paramètres d'incubation.

Néanmoins, puisqu'il ne s'agit pas ici de préconiser le tri des œufs en fonction de leur poids et qualité de coquille, on se limitera à insister sur l'importance de l'homogénéité au sein d'un même troupeau : l'homogénéité des œufs, et sans doute indirectement celle des coquilles, est étroitement liée à celle du lot donneur.

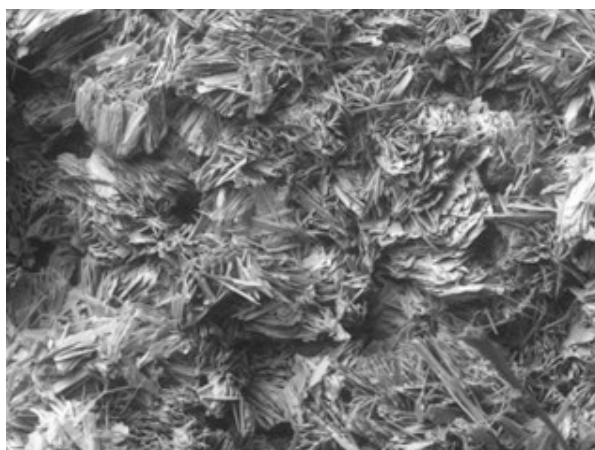
Le choix des paramètres d'incubation sera d'autant plus aisé, et correspondra au mieux aux besoins individuels des embryons, que les lots dont sont issus les œufs sont homogènes.

#### ➔ L'œuf à couvrir idéal.

- ◆ Il aura un rapport longueur/largeur proche de 1,4/1,0.
- ◆ Il aura un poids et une taille en accord avec la moyenne du troupeau.
- ◆ Il aura été pondu dans un endroit sec, propre et protégé de la poussière.
- ◆ Il sera issu d'un troupeau indemne de maladies.
- ◆ Il n'aura pas été souillé par des déjections ou par des copeaux ou paille.
- ◆ Il n'aura pas été sali par de l'albumen ou du jaune d'œuf d'autres œufs cassés.
- ◆ Il aura une couleur homogène (brun foncé à brun clair en fonction de l'âge du troupeau) et la coquille sera lisse, exempte de rugosités ou d'aspérités.
- ◆ La coquille sera intacte, non fêlée ou perforée. Elle ne sera pas fragile ou poreuse :



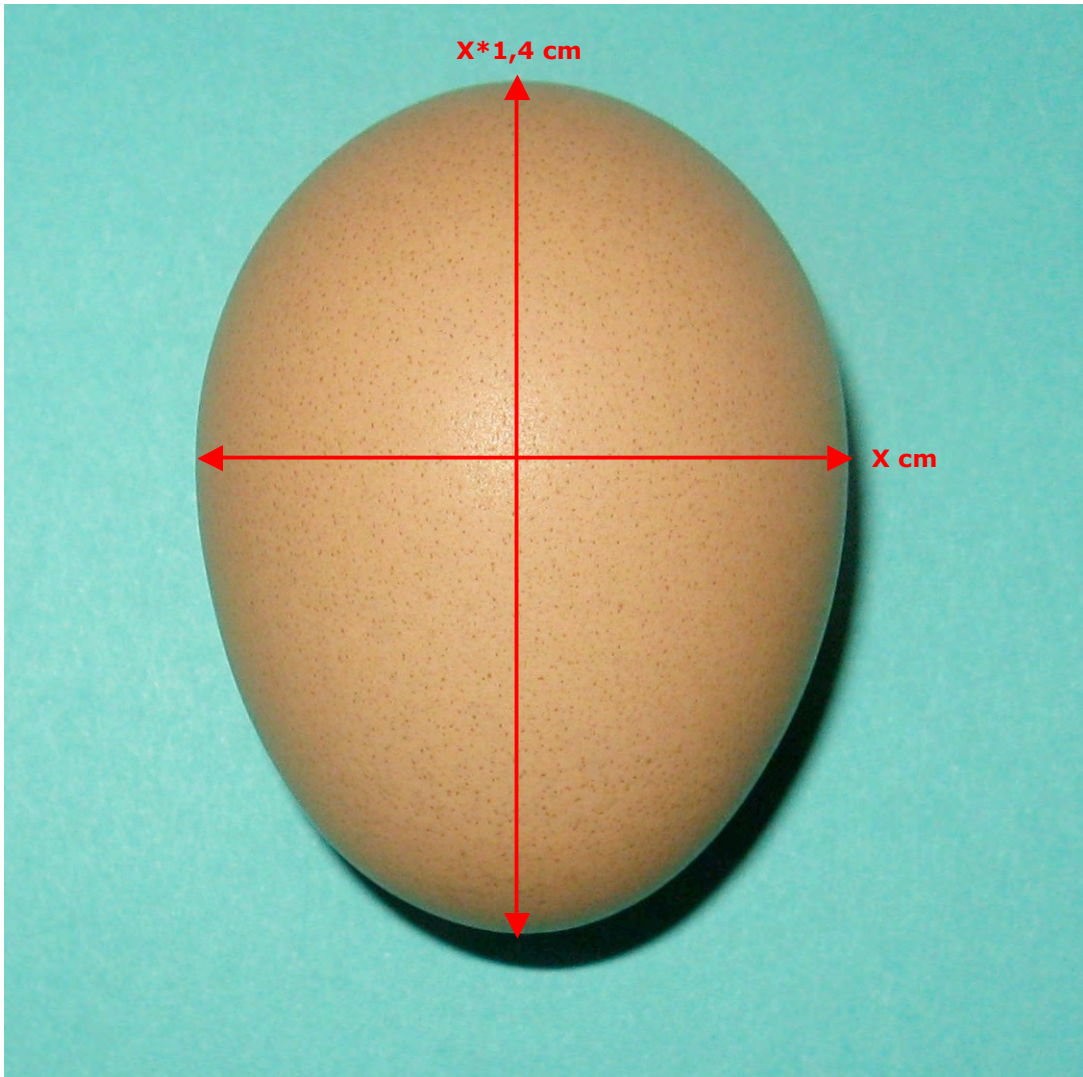
**Coquille lisse**



**Coquille poreuse**

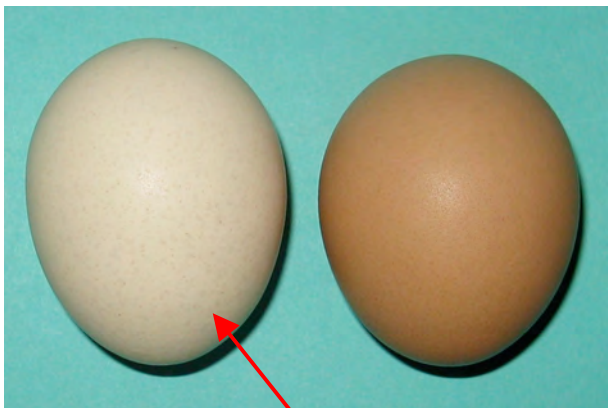
Photos tirées de la présentation du Dr. Eric Guinebert : De l'œuf au poussin : miracle ?, ITAVI, Rennes, SPACE 2004.

## L'ŒUF À COUVER

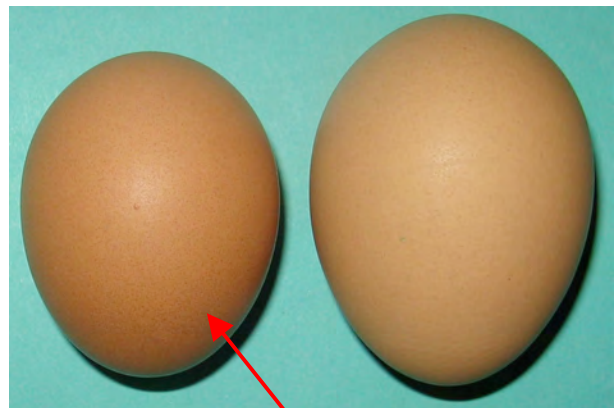


**Œuf idéal**

Les œufs qui ne correspondent pas aux critères ci-dessus, ne devraient pas être considérés comme œufs à couver :



Coquille pâle



Œuf petit

## L'ŒUF À COUVER



Œuf allongé



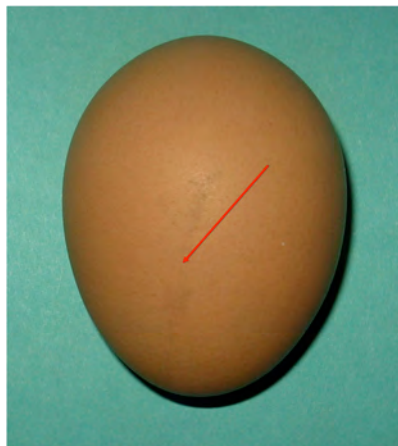
Problèmes de calcification



Œuf perforé



Œuf déforme



Œuf micro-fêlé



Œuf souillé



Œuf rond



Œuf tâché



Œuf « ridé »

Si, pour des impératifs économiques, ils sont mis en incubation, ils devront être identifiés, chargés et éclos à la fin dans des machines séparées ou, à défaut, au bas de celles-ci.

## L'ŒUF À COUVER

### ➔ DÉSINFECTION DES ŒUFS

Même si toutes les précautions ont été prises pour produire des œufs à couver d'une qualité sanitaire optimale, les risques de contamination persistent. Ils sont particulièrement importants lors de la formation de la chambre à air.

La chambre à air débute sa formation dès que l'œuf est pondu : le refroidissement progressif de l'œuf entraîne la contraction de ses constituants (en particulier de l'albumen et des pores situés sur le petit bout), ce qui à son tour génère un phénomène de succion. L'air extérieur est ainsi introduit dans l'œuf et piégé entre les deux membranes coquillères.

Si l'air devant pénétrer l'œuf est contaminé (parce que l'environnement est trop poussiéreux par exemple), ou a dû traverser une zone contaminée (souillures, copeaux ou paille collés à la surface de la coquille), bactéries et champignons se retrouveront introduits dans l'œuf. Ils resteront le plus souvent piégés au niveau de la membrane coquillère externe.

Alors que cette contamination est peu ou pas détectable lors des tests de surface de coquille, elle est une des plus dangereuses car elle se répand très facilement parmi les poussins au moment de l'éclosion.

La désinfection des œufs, alors qu'ils sont encore chauds, est donc un des meilleurs moyens pour prévenir la pénétration de bactéries ou champignons dans l'œuf. Toute désinfection ultérieure, aussi efficace soit-elle sur la surface de la coquille, aura peu d'effets sur les contaminants ayant déjà pénétré l'œuf.

Lorsque l'œuf est pondu, sa température est proche de celle de la poule (sans doute légèrement inférieure) et une période de 4 à 6 heures (en fonction de la température externe) est souvent nécessaire pour que l'œuf atteigne la température d'ambiance. C'est pendant cette période que se forme la chambre à air et c'est donc pendant cette même période que les œufs doivent être désinfectés.

Ceci met en évidence l'importance de la fréquence des ramassages : alors que des ramassages fréquents (4 à 5 fois par jour) favorisent les désinfections pendant que la chambre à air est encore en cours de formation, des ramassages plus espacés dans le temps limiteront leur efficacité.

Mais les bonnes pratiques de ramassage et de désinfection ne constituent pas à elles seules une garantie de qualité sanitaire des œufs : la qualité de la coquille joue un rôle prépondérant dans la prévention des contaminations et il est donc essentiel de tout mettre en œuvre pour qu'elle soit optimale.

Plusieurs études ont montré que le temps d'exposition aux bactéries jouait un rôle moins important que l'épaisseur de la coquille dans la prévention des contaminations. Il a ainsi été établi qu'un poids spécifique de l'œuf, supérieur à 1,080 était souhaitable.

#### Qualité de la coquille et pénétration bactérienne

Poids spécifique de l'œuf	Qualité de la coquille	% de pénétration après 30 minutes	% de pénétration après 60 minutes	% de pénétration après 24 heures
1,070	Mauvaise	34	41	54
1,080	Moyenne	18	25	27
1,090	Bonne	11	16	21

Sauter E.A. et Petersen C.F. (1974)



# L'ŒUF À COUVER

### ➔ Les méthodes de désinfection.

Quelle que soit la méthode choisie, la désinfection ne pourra être considérée comme efficace que si elle est réalisée sur une surface propre. Rares sont en effet les désinfectants qui agissent convenablement sur de la matière organique ou les poussières.

On se limitera ici à citer les principales méthodes de désinfection :

#### **Pulvérisation :**

L'emploi de désinfectants en pulvérisation est une méthode efficace pour limiter les risques de contaminations bactériennes. Elle est particulièrement utile lorsque les œufs sont directement ramassés sur plateaux d'incubation et qu'il est donc possible de pulvériser un désinfectant sur la pointe arrondie des œufs, immédiatement après leur ramassage.

Les désinfectants les plus employés sont ceux à base d'ammonium quaternaire, de phénols, de peroxyde d'hydrogène, d'iode ou de glutaraldéhyde. De par leur composition, certains d'entre eux peuvent colmater les pores, réduire les pertes en eau pendant l'incubation et entraîner des chutes d'éclosion. Se renseigner auprès du fabricant.

Pour une efficacité maximale, on veillera à ce que la température de la solution soit comprise entre 38 et 48°C. La pulvérisation se réalisera dans un local exempt de poussières.

#### **Fumigation :**

C'est la méthode la plus répandue. Elle est particulièrement efficace dans la lutte contre les contaminations de surface de la coquille. Cependant, les gaz qui résultent de la caléfaction des produits ou solutions employés diffusent mal à travers les pores et il est donc essentiel que la fumigation ait lieu alors que la chambre à air est encore en cours de formation.

Nombreux sont les produits qui peuvent être employés pour la fumigation. Les plus répandus et leurs dosages sont :

- ◆ Poudre de para-formaldéhyde : 8-10 grammes par m<sup>3</sup>.
- ◆ Mélange de formol à 37,5% et permanganate de potassium : 2 dosages sont proposés par l'OIE :
  - 53 ml de formol et 35 grammes de permanganate de potassium par m<sup>3</sup>.
  - 43 ml de formol et 21 grammes de permanganate de potassium par m<sup>3</sup>.
- ◆ Mélange de formol à 40% et permanganate de potassium : 45 ml et 30 grammes par m<sup>3</sup> respectivement.

#### **Se conformer dans tous les cas à la législation locale, qui peut restreindre voire interdire l'usage du formol.**

L'emploi du formol et du permanganate de potassium requiert des précautions particulières : on utilisera un récipient métallique à bords évasés, résistant à la chaleur. Le formol sera toujours rajouté au permanganate de potassium, jamais l'inverse, et les opérateurs devront obligatoirement porter un masque intégral.

L'action germicide du formol est maximale lorsque la température ambiante est comprise entre 24 et 35°C et en présence d'une hygrométrie élevée (85-90%). Le temps de contact sera de 20 minutes et les gaz de para-formaldéhyde devront être par la suite soit extraits rapidement, soit neutralisés avec de l'ammoniac (prévoir un volume égal à la moitié de celui de formol utilisé pendant 10 à 15 minutes).

### L'ŒUF À COUVER

- ◆ De nombreuses autres solutions, souvent à base de formol, d'ammonium quaternaire ou de peroxyde d'hydrogène existent dans le commerce. Leur utilisation devra se conformer aux recommandations du fabricant.

#### **UV-C :**

Il s'agit là d'une méthode largement employée pour la désinfection de l'eau, voire de certaines ambiances, mais qui reste encore peu répandue dans la désinfection des œufs à couvrir.

Ceci est peut-être lié au fait que la méthodologie est encore mal définie (les temps d'exposition préconisés, sans préjudice pour l'embryon, varient de 40 secondes à 5 minutes) et qu'il est difficile d'imaginer qu'on puisse exposer aux UV-C tous les côtés de tous les œufs en salle de fumigation, même si les œufs sont directement ramassés sur plateaux d'incubation.

Seul un système de ramassage et mise sur plateau automatique avec, au préalable, passage par un caisson de désinfection où les œufs tournent sur eux-mêmes, peut permettre une action optimale des UV-C.

Toujours est-il qu'ils ont une action efficace contre les bactéries et champignons piégés au niveau des membranes coquillères, qu'ils traversent la coquille mais ont du mal à traverser les poussières. Seuls les UV-C (250-275 nm) ont une action bactéricide.

Une attention particulière devra être portée à la protection des yeux, une exposition prolongée aux UV-C pouvant endommager la rétine.

#### **Ozone :**

L'ozone est souvent employé dans la désinfection de l'eau et, en industrie alimentaire, dans la conservation des aliments.

Il a un poids moléculaire proche de celui de l'oxygène ou du dioxyde de carbone et peut donc bien diffuser par les pores de la coquille. Cette caractéristique lui confère une action bactéricide certaine au niveau des membranes coquillères mais il reste très instable et dangereux tant pour l'opérateur que pour l'embryon.

L'ozone est toxique, corrosif et comburant et son utilisation doit répondre à des normes très strictes de sécurité. À hautes doses (3%) il a un effet néfaste sur les taux d'éclosion. À des doses 100 fois inférieures, il garde un effet négatif sur le développement embryonnaire tout en ayant une activité bactéricide limitée.

Certains chercheurs vont même jusqu'à déconseiller l'ozone comme alternative au formol.

La méthode d'utilisation est encore mal connue mais on sait que l'ozone a tendance à se dissocier naturellement en dioxygène, qu'il traverse les parois des cellules et s'attaque, par oxydation, à tous ses constituants.

Son activité bactéricide et virucide est avérée mais ni les temps de contact ni les conditions d'ambiance requises n'ont été arrêtés.

#### **Lavage :**

C'est sans doute l'une des meilleures méthodes mais également l'une des plus onéreuses. Les laveuses automatiques, placées le plus souvent juste après la mise sur plateaux d'incubation, emploient des buses à haute pression qui pulvérisent du désinfectant autour de l'œuf à une température de 40-50°C.

### L'ŒUF À COUVER

La plupart des œufs, y compris les sales ou pondus au sol, peuvent être récupérés par cette méthode. Une attention particulière devra néanmoins être portée sur le choix du désinfectant : certains d'entre eux ont tendance en effet à réagir avec la cuticule et perdre ainsi de leur efficacité. D'autres, de par leur composition, ont tendance à colmater les pores et pénaliser en conséquence les échanges gazeux. Se renseigner auprès du fabricant.

Pour une efficacité optimale, on veillera à ce que la concentration de l'agent actif soit constante tout au long de l'opération (renouvellement régulier de la solution désinfectante).

#### **Essuyer, poncer et polir :**

Nombreux sont les éleveurs qui ont tendance à retirer de la surface de la coquille les restes de copeaux, paille ou déjections qui pourraient s'y trouver. Tant qu'elle n'est pas utilisée exagérément, cette technique peut constituer une bonne méthode de nettoyage.

Quand un œuf a besoin d'1 ou 2 coups de chiffon (tissu) pour être nettoyé, il peut alors être considéré comme un œuf à couvrir. Quand, au contraire, plus de 2 coups de chiffon (tissu) sont nécessaires pour enlever les saletés, l'œuf ne devrait plus être considéré comme œuf à couvrir.

Puisqu'ils entraînent souvent la destruction de la cuticule, et même parfois d'une partie de la coquille, l'emploi de la laine de verre, de la laine de roche ou même le polissage ne sont pas recommandés.

### STOCKAGE DES ŒUFS

Bien des choses ont été dites sur un retour aux conditions naturelles d'incubation depuis que le chargement unique a trouvé un nouvel élan. Malheureusement, on connaît encore assez mal tous les mécanismes qui régissent la survie des embryons lorsque les œufs sont stockés.

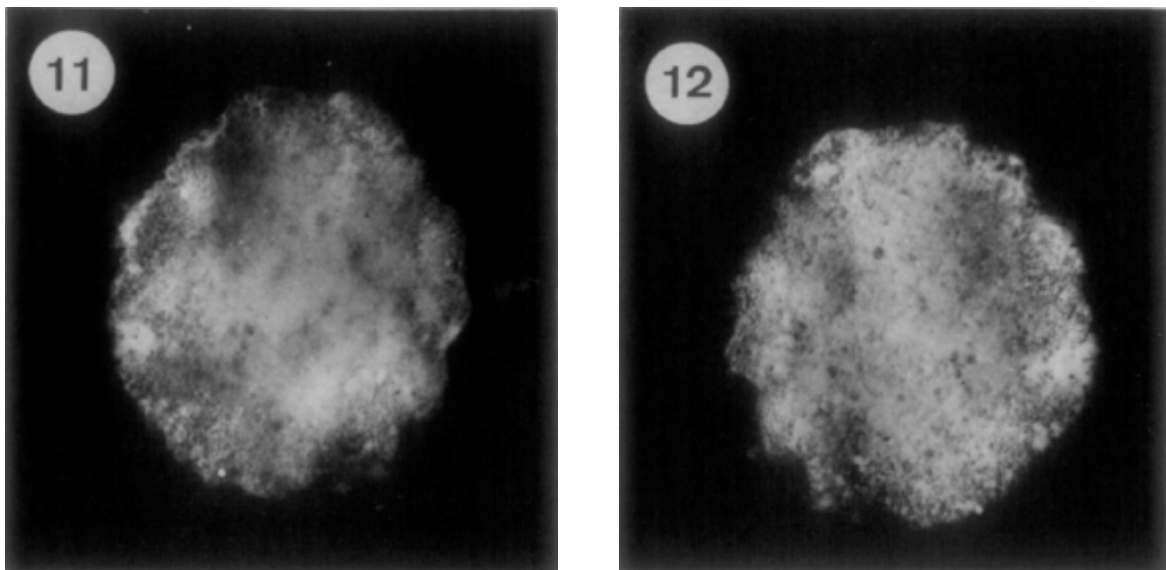
Or, le stockage, lorsqu'il dépasse les 7-8 jours, a un effet certain sur les taux d'éclosion, la qualité des poussins et même leur croissance ultérieure.

### ➔ DE L'OVULATION À L'OVIPOSITION

L'œuf est fertilisé dans l'infundibulum, peu de temps après l'ovulation. Les premiers clivages du zygote débutent environ 5 heures après la fécondation, au moment où il atteint l'utérus. Ils continuent pendant encore environ 11 heures.

Les clivages répondent à un modèle extrêmement variable chez l'embryon mais ils débutent toujours par la formation d'un sillon dans la zone centrale du germe. Les 5 ou 6 premières divisions cellulaires suivent verticalement ce sillon. La partie inférieure de celui-ci s'étend par la suite latéralement séparant ainsi les cellules centrales du germe du jaune. C'est le tout début de la formation de la cavité subgerminale.

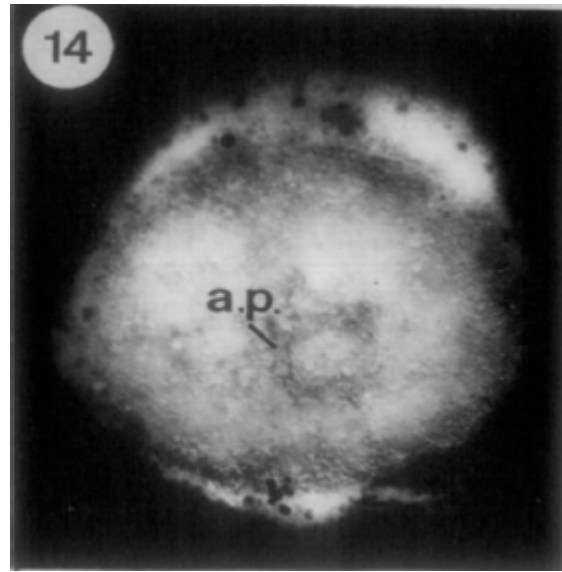
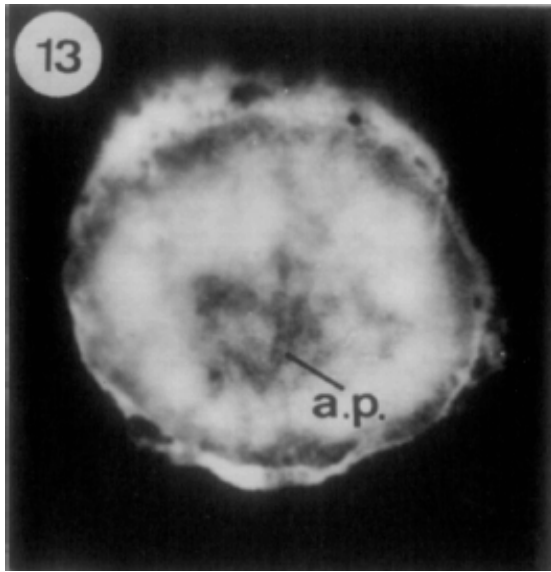
Le rythme des divisions mitotiques est extrêmement élevé durant cette période : elles alternent des phases verticales et horizontales. Après environ 11 heures de clivage, le disque cytoplasmique au sommet du jaune se transforme en un disque opaque d'environ 5 ou 6 cellules de profondeur (Khaner O., 1993). C'est le stade VI de la classification d'Eyal-Giladi H. et Kochav S. (1976) :



Vue supérieure (11) et inférieure (12) du stade VI du développement embryonnaire. La totalité de la masse cytoplasmique du disque germinal a clivé, les cellules sont très petites et forment une surface d'épaisseur homogène. C'est à ce stade-ci que le germe peut légitimement être appelé blastoderme (Eyal-Giladi H. et Kochav S., 1976).

La formation de l'aire pellucide (*area pellucida*) débute au stade VII, environ 12-14 heures après que l'œuf ait pénétré l'utérus. Elle se traduit par la migration progressive d'un certain nombre de cellules faisant face à la cavité subgerminale, vers le fond de celle-ci. À partir de ce moment, le diamètre du germe augmente régulièrement.

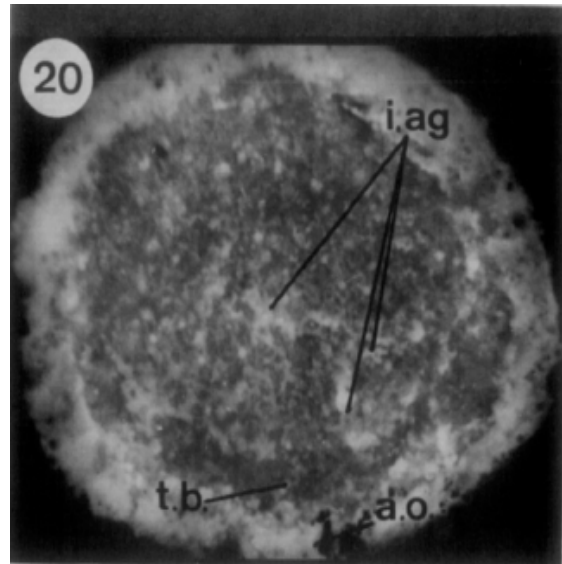
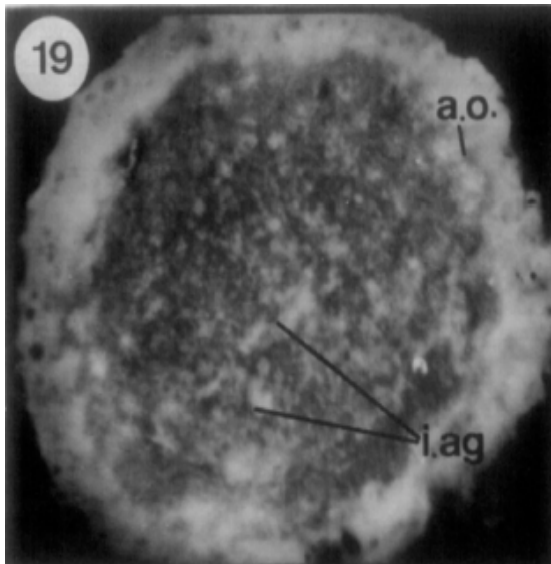
STOCKAGE DES ŒUFS



Vue supérieure (13) et inférieure (14) du stade VII du développement embryonnaire. Alors que la partie supérieure reste intacte, la partie inférieure subit une perte cellulaire. C'est le début de la formation de l'aire pellucide (a.p.) (Eyal-Giladi H. et Kochav S., 1976).

Le processus continue encore pendant 8 ou 9 heures pour atteindre, au stade X du développement embryonnaire, une aire pellucide d'une seule cellule d'épaisseur et une aire opaque (*area opaca*) clairement définie (Khaner O., 1993).

Pendant ce stade, on observe également sur la partie inférieure du blastoderme, la formation de groupes de cellules et une zone, tout à l'arrière, non impliquée dans cette transformation. C'est le tout début de la formation de l'hypoblaste.



Vue supérieure (19) et inférieure (20) du stade X du développement embryonnaire. Sur la partie inférieure apparaissent des groupes cellulaires isolés (*isolated cell aggregates*, i.ag.), plus nombreux dans la partie postérieure du blastoderme. Une ceinture transparente (*transparent belt*, t.b.), sépare les groupes cellulaires de l'aire opaque (a.o.) (Eyal-Giladi H. et Kochav S., 1976).

### STOCKAGE DES ŒUFS

C'est généralement au stade X du développement embryonnaire que l'œuf est pondue : l'embryon contient de 40 000 à 60 000 cellules, son diamètre varie de 3 à 4 mm, et l'axe antéro-postérieur y est clairement défini.

Mais des facteurs de variation existent : Meijerhof R. (1992) fait mention d'un certain nombre de travaux montrant que l'âge du troupeau joue un rôle essentiel sur le stade de développement embryonnaire au moment de l'oviposition. Ainsi, plus le troupeau est âgé, plus le stade de développement est avancé.

Le poids des poules semble également jouer un rôle prépondérant : les troupeaux de poids élevé en période d'élevage ont tendance à pondre des œufs à un stade plus précoce que ceux élevés à des poids plus faibles.

La position de l'œuf dans la série paraît aussi influencer le stade de développement : leur temps de transit étant souvent plus long, les premiers et derniers œufs de la série ont tendance à être pondus à un stade plus avancé que ceux du milieu de la série.

Le type de nid joue également un rôle important : étant donné qu'ils mettent plus de temps à se refroidir (de par le matériau employé ou parce que la poule a tendance à les couvrir), les œufs pondus dans des nids manuels sont souvent à un stade plus avancé de développement que ceux pondus dans des nids automatiques ou dans des cages.

Or, le stade de développement embryonnaire au moment de l'oviposition apparaît comme étant un facteur essentiel dans la survie de l'embryon au cours de l'incubation :

#### Stade du développement embryonnaire au moment de l'oviposition et éclosion

Stade pré-gastrula ( < stade EG10* )	Stade gastrula avancé ( ≥ stade EG10* )	Éclosion
% d'embryons à ce stade de développement embryonnaire	% d'embryons à ce stade de développement embryonnaire	%
30	70	>55 à >84
62	38	<55

(\*) Stade de développement embryonnaire d'après la classification d'Eyal-Giladi H. et Kochav S. (1976).

Adapté de Reijrink I. *et al* (2008)

Plus encore, il semble jouer un rôle primordial dans la capacité de l'embryon à résister à des périodes de stockage prolongées : de nombreuses études indiquent que le stade X du développement embryonnaire résiste moins bien que les stades XII (Reijrink I., 2009) ou XIII (Fasenko G.M. *et al*, 2003a).

Il s'agit là de stades où l'hypoblaste et l'épiblaste sont encore en cours de formation (stade XII), ou complètement formés (stade XIII). Ces stades de développement ne peuvent être obtenus que par incubation.

### ➔ PRÉ-INCUBATION (PRESI)

En conditions naturelles, la poule n'a pas tendance à garder les œufs à une température constante. Au contraire, à chaque fois qu'elle pond un nouvel œuf, elle le réchauffe, lui, et celui ou ceux pondus les jours précédents.

Il est possible que cette couvaie, aussi courte et intermittente soit-elle, vise à amener les embryons à un stade plus avancé de développement et à favoriser ainsi la régénération des cellules mortes pendant le stockage. La pré-incubation (PRESI - *pre-storage incubation* -) tente de reproduire ce mécanisme.

### STOCKAGE DES ŒUFS

Elle consiste en la mise en incubation des œufs, dès leur arrivée au couvoir et avant leur passage en salle de stockage, à une température de 37,7-37,8°C et pendant une période de 6 heures.

Les essais que nous avons menés dans nos propres couvoirs ont toujours donné des résultats positifs (+4,1% en moyenne pour des œufs stockés entre 4 et 13 jours) mais d'autres chercheurs ont obtenu des résultats plus nuancés. Le stade de développement à l'oviposition, la température de pré-incubation, sa durée, semblent en effet être des facteurs qui peuvent grandement affecter le succès de la méthode.

Fasenko G.M. *et al* (2003b) ont même trouvé qu'une pré-incubation réalisée quelques jours après la ponte et non pas juste après celle-ci, pouvait avoir des effets négatifs sur les taux d'éclosion.

La technique doit donc être employée avec précaution. La méthodologie est encore mal définie et ses effets peuvent s'avérer négatifs. De plus, elle est difficile à mettre en œuvre car elle suppose qu'un incubateur soit disponible en permanence.

### ➔ CONSÉQUENCES PHYSICO-CHIMIQUES DU STOCKAGE

Le « zéro physiologique », température à laquelle le développement embryonnaire cesse, reste encore mal connu. Decuyper E. et Michels H. (1992) font état des connaissances à ce sujet : alors que certains chercheurs l'évaluent à 20-21°C, d'autres l'établissent entre 25 et 27°C, voire même entre 28 et 29°C.

Ces écarts peuvent être liés à des besoins différents, fonction des tissus concernés. Ceci est indirectement démontré par Wilson H.R. (1991) qui observe un développement disproportionné lorsque l'embryon est maintenu à une température variant entre 27 et 35°C.

#### ➔ Pertes en eau pendant le stockage.

La cuticule organique recouvrant la coquille forme, au niveau des pores, des plaques parcourues de fissures qui s'élargissent au cours du vieillissement de l'œuf et permettent les échanges gazeux entre celui-ci et l'air ambiant.

La perte d'eau se fait par évaporation en fonction de cinq paramètres qui sont : la durée de conservation, la température et l'humidité de l'air ambiant, la surface et la porosité de la coquille (Sauveur B., 1988).

Au départ, l'évaporation se fait à partir des membranes coquillères. Elle est par la suite remplacée par une évaporation active à partir de l'albumen. Alors qu'il a été suggéré que ces pertes en eau pouvaient avoir un effet négatif sur la viscosité de l'albumen, aucune relation directe n'a pu, à ce jour, être établie entre évaporation et pH et densité du blanc.

Meijerhof R. *et al* (1994), cité par Reijrink I. *et al* (2008), ont montré que les pertes en eau pendant le stockage étaient peu influencées par l'hygrométrie ambiante lorsque celle-ci variait entre 55 et 75%. Il est pour autant communément admis que les pertes en eau pendant le stockage doivent être maîtrisées et doivent idéalement se situer entre 0,8 et 0,9% par semaine.

#### ➔ Conséquences sur l'albumen.

La densité de l'albumen « épais » résulte de l'état des liaisons électrostatiques de l'ovomucine (et plus particulièrement de sa sous-unité  $\beta$ ) et du lysozyme. Les cations divalents de l'albumen (magnésium et calcium) en sont des facteurs de cohésion.

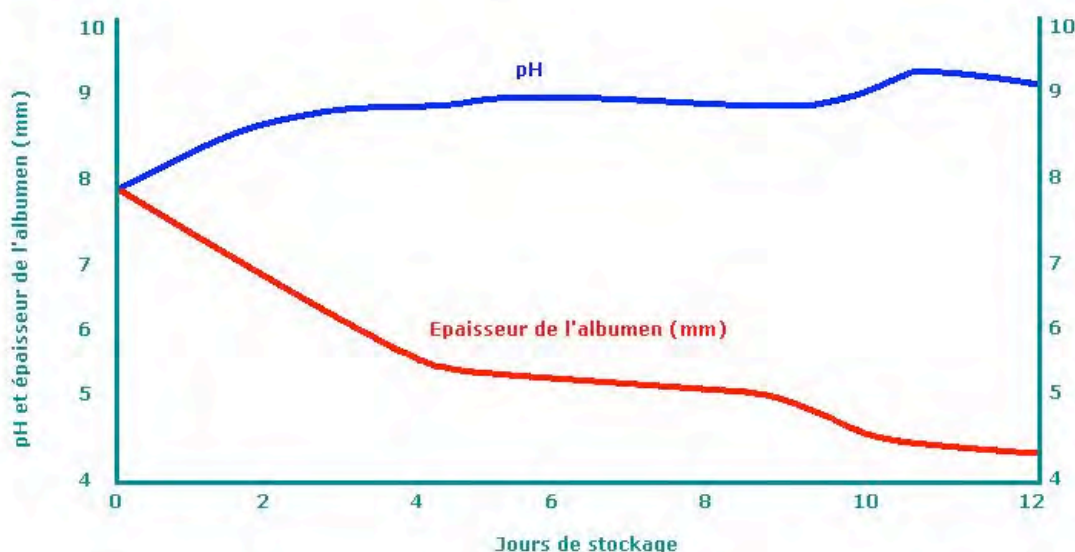
Elle est très dépendante du pH et elle se dégrade naturellement au fur et à mesure que l'âge du troupeau ou le poids de l'œuf augmente. Elle semble jouer un rôle essentiel dans les échanges gazeux et le transport des nutriments vers l'embryon.

## STOCKAGE DES ŒUFS

Au moment de la ponte, le CO<sub>2</sub> contenu dans l'albumen s'échappe progressivement. Le rythme de libération du CO<sub>2</sub> va surtout dépendre du pouvoir tampon de l'albumen (qui atteint son minimum lorsque le pH varie entre 7,0 et 9,0), mais également de la température ambiante, de la conductance de la coquille, de la durée du stockage et de l'environnement gazeux autour de l'œuf.

Les déperditions entraînent une élévation du pH de l'albumen. Il passe d'environ 7,6 au moment de la ponte à 9,0 ou 9,2 quelques jours après.

### Evolution du pH et de la hauteur de l'albumen « épais » au cours du stockage



Adapté de Van de Ven L. (2003)

L'élévation du pH est importante et nécessaire : non seulement parce que le développement embryonnaire précoce est régi par des enzymes pH dépendantes (Decuyper E. *et al*, 2001), mais également parce que le pH alcalin qui en résulte, protège l'embryon d'éventuelles attaques bactériennes.

Il est intéressant de noter que l'essentiel de l'élévation du pH a lieu pendant les 3 ou 4 premiers jours. Ceci peut expliquer le fait que les œufs stockés pendant de courtes périodes ont tendance à mieux éclore que ceux incubés le jour même de leur ponte : la dégradation de l'albumen qui résulte de l'élévation du pH, faciliterait les échanges gazeux et le transport des nutriments vers l'embryon (Lapão C. *et al*, 1999).

Ce qui précède est surtout vrai pour les œufs issus de jeunes troupeaux : la densité de leur albumen est bien supérieure à celle des œufs issus de vieux troupeaux. Ceci est en partie lié au fait que le pH de leur albumen, au moment de la ponte, est légèrement inférieur :

Âge du troupeau (semaines)	pH de l'albumen le jour de ponte	Épaisseur de l'albumen le jour de ponte (mm)
32	8,08 ± 0,02	7,74 ± 0,29
42	8,19 ± 0,02	7,44 ± 0,29
54	8,23 ± 0,02	7,06 ± 0,29
59	8,30 ± 0,02	6,28 ± 0,29

Lapão C. *et al*, (1999)



### STOCKAGE DES ŒUFS

Il est également intéressant de noter que, quel que soit le pH de départ, il tend toujours à se stabiliser au même niveau, aux environs de 9,0-9,2, 4 à 5 jours après la ponte (Lapão C. *et al*, 1999). Le stockage prolongé n'entraîne donc pas une élévation supplémentaire du pH.

La conséquence la plus connue de cette élévation est la « liquéfaction » de l'albumen : la hauteur de l'albumen « épais » mesurée en unités Haugh, diminue en fonction du temps selon une courbe exponentielle.

#### ➔ Conséquences sur le jaune.

Au moment de la ponte, le pH du jaune se situe entre 6,0 et 6,3. Il augmente progressivement par la suite pour se stabiliser aux alentours de 6,5-6,8 (Reijrink I. *et al*, 2008).

Au cours du stockage, les altérations physico-chimiques du jaune sont très dépendantes de celles décrites pour l'albumen. L'élévation du pH de l'albumen entraîne :

- ◆ Une fragilisation de la membrane vitelline (d'une composition très proche de celle des chalazes).
- ◆ Un transfert massif d'eau vers le jaune (fort gradient de pression osmotique entre l'albumen et le jaune et présence au niveau de ce dernier de protéines hydrophiles).
- ◆ Un transfert des cations divalents vers le jaune (ce qui accélère d'autant plus le processus de liquéfaction de l'albumen).
- ◆ Une diminution de la viscosité et une modification de l'index de forme du jaune (relation entre sa hauteur et sa largeur, le jaune s'aplatit).

Si ces altérations sont accélérées (notamment par l'ingestion de certaines matières premières, certains anticoccidiens, voire même de certains antiparasitaires), des tâches à la surface du jaune peuvent apparaître : c'est le phénomène de **mottling** ou de jaunes « marbrés » qui peuvent même exister dès la ponte (Sauveur B., 1988).

On constate alors, après stockage de l'œuf :

- ◆ Une teneur en eau du jaune anormalement élevée.
- ◆ Une diffusion rapide du fer du jaune vers l'albumen, donnant à ce dernier une coloration rose.
- ◆ Une pénétration de protéines dans le jaune lui donnant une couleur saumon.

Puisque de densité plus légère, l'albumen entraîne en se liquéfiant le déplacement du jaune vers le haut, là où se trouve, en conditions normales de stockage, la chambre à air. L'exposition à des risques accrus de déshydratation et d'oxydation qui en résulte peut affecter la survie des embryons.

#### ➔ Conséquences sur l'embryon.

Au cours du stockage, le pH de l'albumen passe donc rapidement d'environ 7,6 à 9,0 ou 9,2 et cette modification entraîne une augmentation progressive de la perméabilité de la membrane vitelline. Or, c'est cette dernière avec les chalazes qui protègent l'embryon au cours du stockage et pendant les 2 ou 3 premiers jours de l'incubation (jusqu'à la mise en place des annexes embryonnaires).

La fragilisation de la membrane vitelline expose donc l'embryon à des pH fortement alcalins et il est suggéré que ceux-ci puissent être responsables de mortalités embryonnaires précoces (Reijrink I. *et al*, 2008).

Gillespie J. et McHanwell S. (1987), cités par Reijrink I. *et al* (2008), ont mesuré le pH de l'espace extracellulaire au cours des toutes premières heures d'incubation. Ils ont trouvé des valeurs variant de 7,9 à 8,4. Dans des études précédentes, ces mêmes auteurs avaient déjà démontré que la migration du fibroblaste était optimale lorsque le pH était de 8,2. Il apparaît donc que le pH optimal pour le développement embryonnaire au cours des tous premiers jours se situe entre 7,9 et 8,4.

### STOCKAGE DES ŒUFS

Les travaux de Sauveur B. *et al* (1967) et Walsh T. (1993), cités par Brake J. *et al* (1997), vont dans le même sens : pour un développement optimal de l'embryon, le pH de l'albumen doit se situer entre 8,2 et 8,8.

Il apparaît ainsi que le fort gradient de pH auquel est soumis l'embryon (environ 3 unités de pH entre le jaune et l'albumen) soit nécessaire à son développement (Brake J. *et al*, 1997). Ceci ne veut aucunement dire que le pH de l'embryon évolue avec le temps : quel que soit le gradient auquel il est soumis, le pH de l'embryon reste assez stable tout au long du stockage.

C'est à ce niveau-ci qu'interviendrait le stade du développement embryonnaire au moment de l'oviposition : alors que des stades précoces, de par leur métabolisme et la production de CO<sub>2</sub> qui en découle, seraient incapables de maintenir un pH adéquat, il serait plus aisé de le faire pour des embryons à un stade plus avancé de développement.

Mais les éléments ci-dessus n'expliquent pas tout : nombreuses sont en effet les études qui montrent que des pH proches de ceux observés au moment de l'oviposition, et obtenus par exposition à une ambiance enrichie en CO<sub>2</sub>, ont un effet négatif sur les résultats d'éclosion. Il semblerait en effet que l'emploi du CO<sub>2</sub> ne soit bénéfique que si les concentrations employées parviennent à ramener le pH de l'albumen à un niveau proche de celui observé au cours des 3 à 5 premiers jours de stockage.

La température a un effet notable sur l'embryon : même si l'œuf est conservé à une température inférieure à celle du « zéro physiologique », et même si aucun changement morphologique majeur n'est observé pendant le stockage, l'incidence de cellules apoptotiques (qui initient leur processus d'autodestruction) ou nécrotiques semble augmenter au fur et à mesure que la durée du stockage et la température augmentent.

Arora K. et Kosin I. (1968), cités par Reijrink I. *et al* (2008), ont observé sur des œufs stockés pendant 21 jours, que les index de mitose et de nécrose étaient plus élevés lorsque les températures de conservation dépassaient les 10°C. Dans le même sens, Bloom S. *et al* (1998), cités par Reijrink I. *et al* (2008), ont trouvé que le pourcentage de cellules apoptotiques passait de 3,1% au moment de l'oviposition, à 13,9% après 14 jours de stockage à une température de 12°C.

### ➔ CONDITIONS DE STOCKAGE

#### ➔ La température.

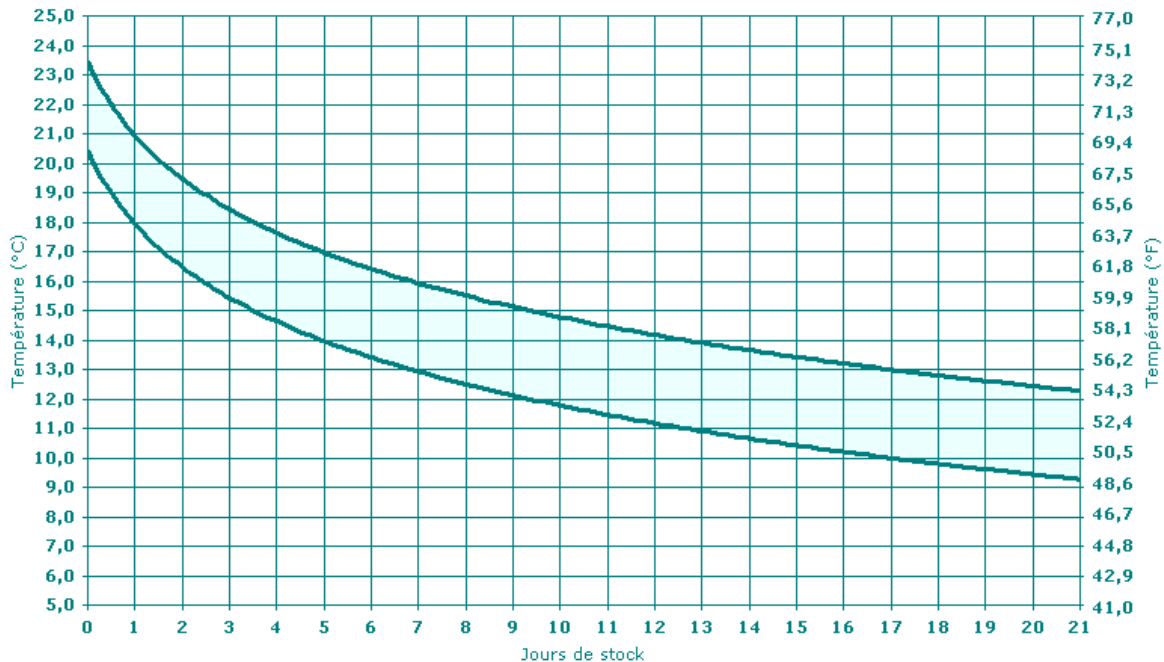
Ce qui précède montre bien que la température joue un rôle majeur dans la survie des embryons au cours du stockage :

- ◆ Le refroidissement progressif de l'œuf permet à l'embryon d'atteindre un stade de développement susceptible de mieux résister aux stockages prolongés.
- ◆ Pour des stockages de courte durée, des températures légèrement en-dessous du « zéro physiologique » doivent permettre la liquéfaction de l'albumen et faciliter ainsi le transfert des nutriments vers l'embryon, sans pour autant grandement affecter l'intégrité de la membrane vitelline.
- ◆ Au fur et à mesure que les durées de stockage deviennent importantes, des températures suffisamment faibles doivent permettre une réduction substantielle des apoptoses et nécroses cellulaires.

Ceci nous amène aux recommandations suivantes :

## STOCKAGE DES ŒUFS

### Évolution de la température au cours du stockage



Elles sont confortées par l'état des recherches que Brake J. *et al* (1997) font à ce sujet : pour des œufs stockés plus de 14 jours, les meilleurs résultats d'éclosion sont obtenus lorsque la température de stockage est d'environ 12°C. Mais une température de 15°C donne de meilleurs résultats lorsque les œufs ne sont stockés que pendant 8 jours et une autre, de 18°C, est encore meilleure lorsque les œufs ne sont conservés que pendant 2 jours.

#### ➔ L'humidité.

On a vu que l'humidité au cours du stockage ne semblait pas jouer un rôle crucial dans la survie de l'embryon. Deux exceptions cependant :

- ◆ D'une part, Walsh T. *et al* (1995) ont observé sur des œufs stockés à une température de 23,9°C pendant une période de 14 jours, les pertes en eau les plus importantes et les moins bons résultats d'éclosion. Les travaux de Jin Y. *et al* (2011) vont dans le même sens : lorsque les œufs sont stockés à une température de 29,0°C, les pertes en eau passent rapidement de 1,74% à 5 jours, à 3,67% après 10 jours de stockage.
- ◆ D'autre part, lorsque les températures de conservation sont faibles (au-delà du 7<sup>ème</sup> jour), il peut être plus difficile d'atteindre des volumes suffisants de vapeur d'eau dans l'air pour éviter une déshydratation excessive (Brake J. *et al*, 1997).

Dans la pratique, parce que la conductance de leur coquille peut parfois être trop élevée, ou parce que la qualité de leur albumen est insuffisante, seuls les œufs issus de vieux troupeaux montrent une sensibilité accrue à des taux d'humidité faibles (Brake J. *et al*, 1997).

Il est malgré tout admis que les pertes en eau pendant le stockage doivent être maîtrisées. Elles doivent idéalement se situer entre 0,8 et 0,9% par semaine.

#### ➔ Le retournement.

Le retournement des œufs pendant le stockage est une pratique très répandue chez les accoueurs.

### STOCKAGE DES ŒUFS

Deeming D. (2000) suggère que le retournement permettrait à l'embryon d'être exposé à des sources nouvelles de nutriments et que ceci lui conférerait la capacité de mieux résister à des périodes de stockage prolongées. En absence de retournement, l'embryon serait exposé à un environnement unique, peut-être très rapidement dégradé par le métabolisme embryonnaire.

Le retournement permettrait donc à l'embryon d'avoir accès à de nouvelles sources d'énergie.

D'autres théories existent néanmoins : il est communément admis par exemple, que le retournement prévient une déshydratation et une oxydation excessives de l'embryon (le jaune aurait moins tendance à se coller aux membranes coquillères).

Mais les effets du retournement sont plutôt nuancés : Proudfoot F. (1966) a observé que des œufs stockés à un angle de 50°, et retournés tous les jours de 180°, avaient des résultats d'éclosion meilleurs que des œufs non retournés. Les effets de ce retournement étaient d'autant plus importants que la période de stockage était longue (peu ou pas d'effets jusqu'à 14 jours de stock, effets marqués à partir de 21 jours et au-delà).

Elibol O. *et al* (2002) ont trouvé que le retournement pendant le stockage était surtout bénéfique aux œufs issus de vieux troupeaux mais que son impact sur des œufs issus de jeunes troupeaux, quelle que soit la période de stockage (3, 7 ou 14 jours dans l'essai), était négligeable.

Les conclusions de Mahmud A. et Pasha T. (2008) vont dans le même sens : le retournement des œufs pendant le stockage (6 à 8 fois par jour) n'apporte aucun effet bénéfique aux œufs issus de troupeaux de 32 semaines et stockés pendant 5 jours.

Sauveur B. (1988) va même plus loin lorsqu'il mentionne que le retournement des œufs pendant le stockage n'a jamais été montré comme entraînant une amélioration significative des résultats.

Il est donc peu probable que le retournement puisse être largement recommandé. Il apparaît néanmoins que les résultats d'Elibol O. *et al* (2002) sont logiques et qu'il ne soit donc intéressant de retourner les œufs que lorsqu'ils sont issus de vieux troupeaux.

#### ➔ **Stockage avec la pointe vers le haut.**

Rares sont les études qui se sont penchées sur cet aspect. Sauveur B. (1988) mentionne juste que le stockage la « pointe en haut » serait plutôt favorable pour des conservations longues. Deeming D. (2000) remarque que la conservation des œufs avec la pointe vers le haut permet au jaune d'être toujours en contact avec l'albumen et que ceci maintiendrait l'embryon éloigné des membranes coquillères.

Les essais que nous avons menés dans nos propres couvoirs ont toujours donné des résultats positifs et cette technique est donc à considérer lorsque les œufs sont ramassés en alvéoles, carton ou plastique, et stockés pendant plus de 14 jours.

Pour ne pas endommager la chambre à air, une attention particulière devra être portée à la manipulation des œufs.

#### ➔ **Contrôle de l'atmosphère.**

Les techniques de maîtrise de l'environnement gazeux des œufs au cours du stockage tentent :

- ◆ De remplacer partiellement l'oxygène ambiant par de l'azote pour réduire les risques d'oxydation cellulaire ou,
- ◆ D'augmenter les taux de CO<sub>2</sub> ambiants et limiter ainsi les déperditions de ce même gaz par l'albumen.

### STOCKAGE DES ŒUFS

Les effets de l'azote sur la survie de l'embryon au cours du stockage sont plutôt nuancés : alors que Proudfoot F. (1965, 1972), cité par Reijrink I. *et al* (2008), a trouvé que l'emploi de l'azote pouvait non seulement ramener le taux d'oxygène dans l'air à environ 4%, mais également tendait à stabiliser le pH du jaune et de l'albumen, et pouvait en outre avoir un effet positif sur l'éclosion, Reijrink I. *et al* (2010a) n'ont trouvé aucun effet positif lorsqu'ils ont soumis des œufs stockés pendant 14 jours et à une température de 16°C, à une ambiance composée de 95,8% d'azote.

Les effets du CO<sub>2</sub> sont encore plus controversés : Meijerhof R. (1992) mentionne nombre d'auteurs qui non seulement n'ont trouvé aucun effet positif à l'emploi du CO<sub>2</sub> mais qui en outre, en ont décelé des effets négatifs. Reijrink I. *et al* (2008) font les mêmes constats : à chaque fois que les auteurs ont tenté de ramener le pH de l'albumen au même niveau que celui au moment de l'oviposition, aucun effet positif n'a été observé.

La mise en sacs plastiques (de type *Cryovac*) a, par contre, souvent été décrite comme bénéfique. L'altération de l'environnement gazeux de l'œuf (augmentation de l'humidité et du taux de CO<sub>2</sub>, diminution du taux d'oxygène) qui en résulte serait telle que le pH de l'albumen serait maintenu à un niveau proche de celui normalement observé au cours du 3<sup>ème</sup> ou 5<sup>ème</sup> jour de stockage (voir page 18).

### ➔ RECOMMANDATIONS

#### Période et conditions de stockage

	Période de stockage						
	1-2 jours	3-4 jours	5-6 jours	7-8 jours	9-12 jours	13-16 jours	17-20 jours
<b>Température (°C)</b>	19,0	17,0	15,5	14,0	12,5	12,0	11,5
<b>Humidité relative (%)</b>	70,0	80,0	85,0	90,0	90,0	90,0	90,0
<b>Retournement</b>	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Oui
<b>Pointe vers le haut</b>	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui
<b>Mise en sacs</b>	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui

### ➔ EFFETS DU STOCKAGE SUR LES TEMPS D'INCUBATION

Il est communément admis que le stockage entraîne un allongement de la durée totale d'incubation. Il est essentiellement dû à un retard du démarrage du développement embryonnaire (en moyenne 45 à 50 minutes par jour de stockage) et à une vitesse de croissance plus faible de l'embryon pendant les 48 premières heures (Sauveur B., 1988).

Les travaux cités par Fassenko G.M. (2007) font état des mêmes constats : Arora K. et Kosin I. (1966) ont montré que les embryons d'œufs stockés pendant de longues périodes n'initiaient pas leur développement immédiatement après être soumis à des températures d'incubation. Mather C. et Laughlin K. (1977) ont déterminé que le développement embryonnaire d'œufs stockés pendant 14 jours était retardé d'environ 12,2 heures par rapport à celui d'œufs non stockés. Ils ont également établi que le développement pendant la première partie de l'incubation s'opérait à un rythme plus faible.

Dans ses propres travaux, Fassenko G.M. (2007) a observé que le développement embryonnaire d'œufs stockés pendant 14 jours débutait environ 6 heures après celui d'œufs non stockés. De plus elle a constaté que la réponse individuelle aux températures d'incubation pouvait être très variable : alors que certains embryons débutaient leur développement dès la mise en incubation, d'autres pouvaient présenter un retard significatif.

### STOCKAGE DES ŒUFS

Les causes de cette variabilité sont encore mal connues mais il est fortement suggéré que le stade du développement embryonnaire au moment de l'oviposition puisse en être la cause (plus avancé est le stade de développement, plus rapide est la réponse aux températures d'incubation).

Le stockage n'affecte pas uniquement la durée de l'incubation : nombreux sont en effet les travaux qui ont démontré qu'il avait également un impact sur la mortalité embryonnaire et la qualité des poussins à l'éclosion.

Pourtant, l'effet du stockage en fonction de l'âge du troupeau donneur n'a pas encore été clairement identifié. Alors que Yassin H. *et al* (2008) et De Lange G. (2009) trouvent que le stockage prolongé affecte davantage les œufs issus de jeunes troupeaux, Meijerhof R. *et al* (1994), cités par Reijrink I. *et al* (2010b), Lapão C. *et al* (1999), Elibol O. *et al* (2002) et Tona K. *et al* (2004) montrent que les effets sont d'autant plus négatifs que l'âge du troupeau donneur est avancé. Tous, attribuent cet effet à une moins bonne densité de l'albumen « épais ».

Toujours est-il que le stockage prolongé nuit non seulement aux résultats d'éclosion mais également à la qualité des poussins et à leur croissance ultérieure. Il convient donc de tout en mettre en œuvre pour que les conditions en soient parfaitement maîtrisées.

## INCUBATION

### ➔ LE PRÉCHAUFFAGE

On a vu que les conditions et la durée du stockage jouaient un rôle majeur dans les altérations physico-chimiques de l'œuf, le développement et la survie des embryons, et les résultats d'éclosion qui en découlaient.

Contrairement à ce qu'on pourrait penser, le préchauffage n'a pas pour objectif de compenser les effets du stockage mais plutôt d'y minimiser l'impact. Ce, par le biais de 3 axes principaux :

- ◆ Favoriser autant que faire se peut la régénération des cellules mortes pendant le stockage.
- ◆ Amener tous les embryons à un stade de développement plus ou moins similaire avant leur mise en machine.
- ◆ Réduire les fenêtres d'éclosion et améliorer ainsi la qualité des poussins.

Les techniques employées peuvent varier d'un endroit à l'autre mais elles sont toutes basées sur une augmentation progressive de la température à un niveau qui permette la régénération cellulaire. Funk E. et Biellier H. (1944), cités par Reijrink I. *et al* (2010b), ont montré que le développement morphologique de l'embryon continuait lorsque la température interne de l'œuf dépassait les 27°C.

Le but du préchauffage est donc d'amener les œufs à une température proche de celle mentionnée ci-dessus et ce, pendant une période suffisamment longue pour que la plupart des embryons puissent atteindre un stade de développement similaire :

#### Conditions de préchauffage

	Température	Humidité	Durée
<b>En couloir d'incubation (environnement maîtrisé mais faible vitesse d'air)</b>	25-27°C	50-55%	Minimum 12 heures
<b>En Incubateur</b>	25-27°C	50-55%	Minimum 8 heures

Les observations de Reijrink I. *et al* (2010b) vont dans le sens de ces recommandations : en comparant deux régimes de préchauffage, ils n'ont trouvé d'effets bénéfiques que lorsque les durées étaient conséquentes :

Durée du stockage	Régime de préchauffage	Fertilité (%)	Éclosion (%)	Éclosabilité (%)	Mortalité embryonnaire totale (%)
<b>4 jours</b>	<b>De 19,0 à 37,8°C en 4 heures</b>	95,6	88,6	92,7	7,13
	<b>De 19,0 à 37,8°C en 24 heures</b>	95,0	88,9	93,5	6,34
<b>13 jours</b>	<b>De 19,0 à 37,8°C en 4 heures</b>	93,6	68,5	73,2	26,68
	<b>De 19,0 à 37,8°C en 24 heures</b>	92,1	72,6	78,9	20,87

Adapté de Reijrink I. *et al* (2010b)

## INCUBATION

Les résultats ci-dessus sont en adéquation avec ceux obtenus par Mahmud A. et Pasha T. (2008). Ces auteurs n'ont trouvé aucun effet bénéfique au préchauffage lorsque les périodes de stockage étaient courtes.

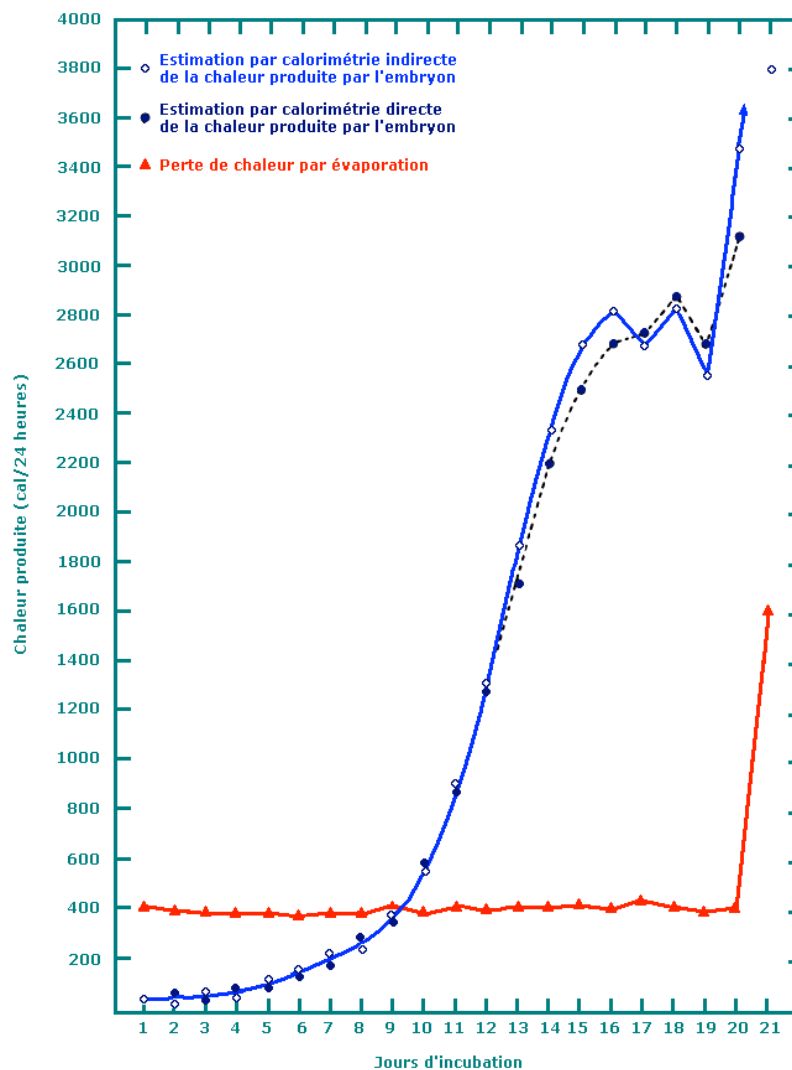
### ➔ TEMPÉRATURE D'INCUBATION

Le développement embryonnaire est essentiellement régi par la température. Il s'agit là d'un paramètre **capital** dans la détermination des conditions d'incubation.

#### ➔ La production de chaleur de l'embryon.

Il est communément admis qu'au cours du développement embryonnaire deux grandes périodes se succèdent : l'une, endothermique, en tout début d'incubation et d'une durée d'environ 8-9 jours, et l'autre, exothermique, en fin d'incubation et d'une durée approximative de 7-8 jours. Entre les deux, une étape dite isothermique, souvent très courte, est parfois mentionnée.

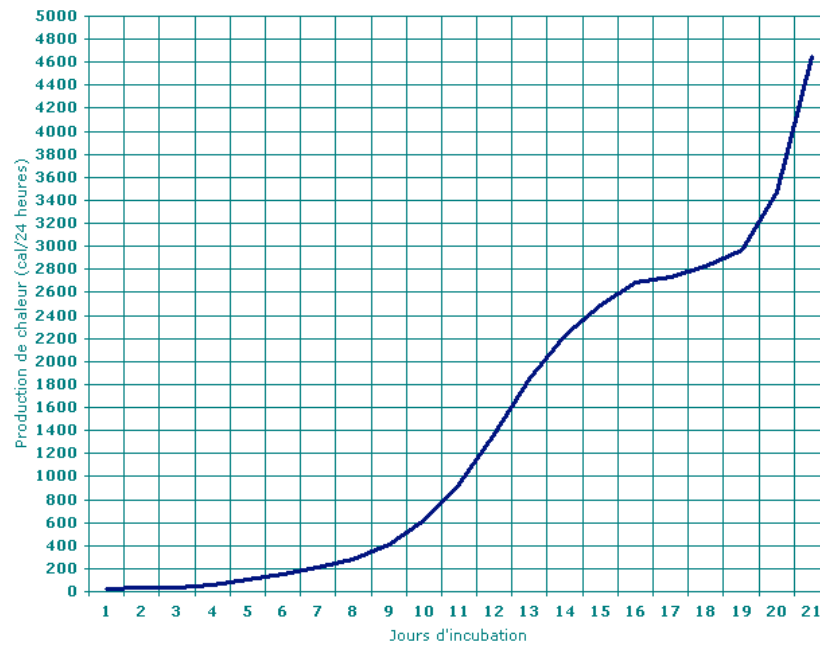
Romijn C. et Lokhorst W. (1960) ont été les premiers à déterminer la production de chaleur de l'embryon :





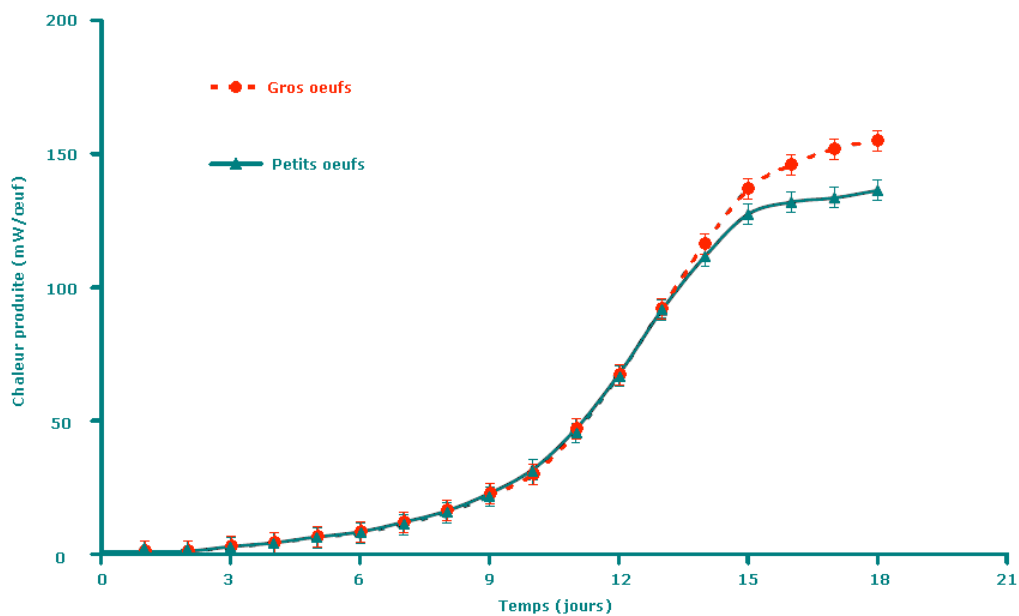
# INCUBATION

Leurs observations sont en accord avec celles de Sauveur B. (1988), basées en partie sur celles de Romanoff A.L. (1967) :



À peine 7 années séparent ces 2 graphiques et les échelles et valeurs sont comparables. Près de 40 ans plus tard, néanmoins, Lourens A. *et al* (2006) vont introduire 2 grands facteurs affectant la production de chaleur de l'embryon :

- ◆ Le potentiel de croissance de la souche.
- ◆ Le poids de l'œuf.



## INCUBATION

Les échelles sont ici différentes (1 cal/24 heures = 0,048425925 mW/œuf) et on peut déduire que les souches actuelles produisent, en fin d'incubation, environ 20% de chaleur de plus que les souches dites « traditionnelles ». Ceci est confirmé par les observations de Boerjan M. (2005) :

### Production de chaleur métabolique (W/1000 œufs) de souches modernes de poulets de chair et poules pondeuses comparées à la souche Bleue de Hollande du Nord (« traditionnelle »)

Jour d'incubation	Souche à croissance rapide (poulet de chair)	Souche de poules pondeuses à œufs blancs	Souche « traditionnelle »
17	151,2	133,2	130,0
18	156,6	130,2	137,0
19	164,4	127,2	124,0
20	252,0	130,8	169,0

Adapté de Boerjan M. (2005)

Il apparaît donc que les programmes d'incubation doivent tenir compte du potentiel de croissance de la souche et qu'on ne peut espérer raisonnablement satisfaire les besoins de tous les embryons si des souches à potentiels de croissance différents sont incubées dans la même machine.

Mais Lourens A. *et al* (2006), et bien d'autres avant eux, vont mettre également en évidence l'importance du poids de l'œuf : en tentant de conserver une température de coquille constante tout au long de l'incubation, ils se sont aperçus que les gros œufs (70,0 grammes en moyenne dans l'essai) avaient besoin d'un réglage plus faible que les petits œufs (56,1 grammes en moyenne dans l'essai) en deuxième partie d'incubation.

Ceci suggère que la croissance des embryons issus de gros œufs s'accélère à partir des 14<sup>ème</sup>-15<sup>ème</sup> jours.

Ces observations sont en adéquation avec celles de Wilson H.R. (1991) qui mentionne que le poids de l'embryon n'est pas corrélé au poids de l'œuf pendant la première partie de l'incubation.

Il apparaît donc ici que les gros œufs ont besoin d'un régime différent et ne peuvent être incubés avec les petits œufs.

### ➔ La chaleur vécue par l'embryon.

Le concept de « chaleur vécue » est différent de celui de « chaleur produite » : alors que le premier est très dépendant de l'environnement immédiat de l'œuf (y compris la qualité de sa coquille), le second est intrinsèque à celui-ci.

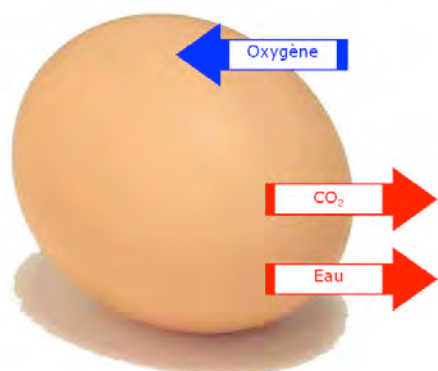
On a vu que le développement embryonnaire traversait deux phases principales : l'une, endothermique et l'autre, exothermique. La chaleur que percevra l'embryon dépendra de la capacité qu'on aura à apporter de la chaleur ou à l'évacuer. Elle va résulter essentiellement de quatre grands facteurs :

- ◆ La conductance de la coquille.
- ◆ L'écart de température entre l'œuf et son environnement.
- ◆ La capacité calorifique de l'air.
- ◆ La vitesse de l'air.

### La conductance de la coquille :

En conditions d'aérobic, la source principale d'énergie de l'embryon est constituée par les graisses contenues dans le jaune. Leur métabolisme va entraîner la production d'eau et de CO<sub>2</sub>. Ils devront être évacués à travers les pores de la coquille.

# INCUBATION



La conductance n'est donc autre chose que l'expression de la capacité de la coquille à diffuser les gaz nécessaires au métabolisme ( $O_2$ ) et produits de celui-ci ( $H_2O$  et  $CO_2$ ).

Elle dépend essentiellement de la surface fonctionnelle des pores et de l'épaisseur de la coquille, et est indépendante des conditions d'incubation.

Elle n'est pas l'expression de la vitesse avec laquelle les gaz peuvent s'échanger : celle-ci ne dépend en effet que des gradients de concentration entre l'œuf et son environnement.

La conductance de la coquille a une importance toute particulière car elle va déterminer avec quelle aisance l'embryon pourra dégager la chaleur en fin d'incubation : des œufs dont les coquilles ont des conductances élevées pourront supporter plus facilement des consignes « hautes » de température alors que des œufs dont les coquilles ont des conductances faibles devront être incubés avec des consignes de température plus basses.

Puisqu'elle n'augmente pas proportionnellement au poids de l'œuf, les gros œufs ont toujours plus de mal à évacuer la chaleur produite par l'embryon (French N.A., 1997).

On connaît malheureusement assez mal les facteurs qui régissent la conductance des coquilles au sein d'un même troupeau et on s'aperçoit que, sous des conditions similaires d'alimentation et d'environnement, elle reste très variable. Visschedijk A. *et al* (1985), cités par Molenaar R. *et al* (2010), ont ainsi montré que le coefficient de variation de la conductance de la coquille pouvait atteindre jusqu'à 22% sur des œufs issus d'un même troupeau et d'un même jour de ponte, bien supérieur à celui qu'on pourrait observer pour le poids des œufs.

A l'image de ce dernier, néanmoins, une homogénéité optimale du lot doit permettre le maintien de qualités de coquille similaires.

### **L'écart de température entre l'œuf et son environnement :**

La vitesse avec laquelle la chaleur s'échange va essentiellement dépendre de l'écart de température existant entre l'œuf et son environnement immédiat. Puisque la production de chaleur de l'embryon est inférieure aux déperditions de chaleur par évaporation pendant les 8 ou 9 premiers jours de l'incubation (voir page 24), les consignes de température de l'incubateur devront être supérieures à celles de l'embryon.

Inversement, dès les 9<sup>ème</sup>-10<sup>ème</sup> jours d'incubation, la production de chaleur de l'embryon est plus élevée que la déperdition de chaleur par évaporation. Les consignes de température de l'incubateur devront donc être inférieures.

### **La capacité calorifique de l'air :**

La capacité calorifique de l'air est déterminée par son humidité relative : alors que l'air sec est un mauvais conducteur de la chaleur, l'air humide permet une distribution plus homogène de la température au sein d'une même machine.

Il convient donc de travailler avec des humidités relativement élevées en début d'incubation de sorte à mieux distribuer la chaleur et permettre ainsi le développement uniforme des embryons. Plus qu'obtenues à partir d'un fonctionnement permanent des brumisateurs (qui n'ont d'autre effet que de réduire la température perçue par les embryons), elles devront être atteintes par la fermeture des trappes d'aération et l'évaporation passive à partir des œufs eux-mêmes.

**La vitesse de l'air :**

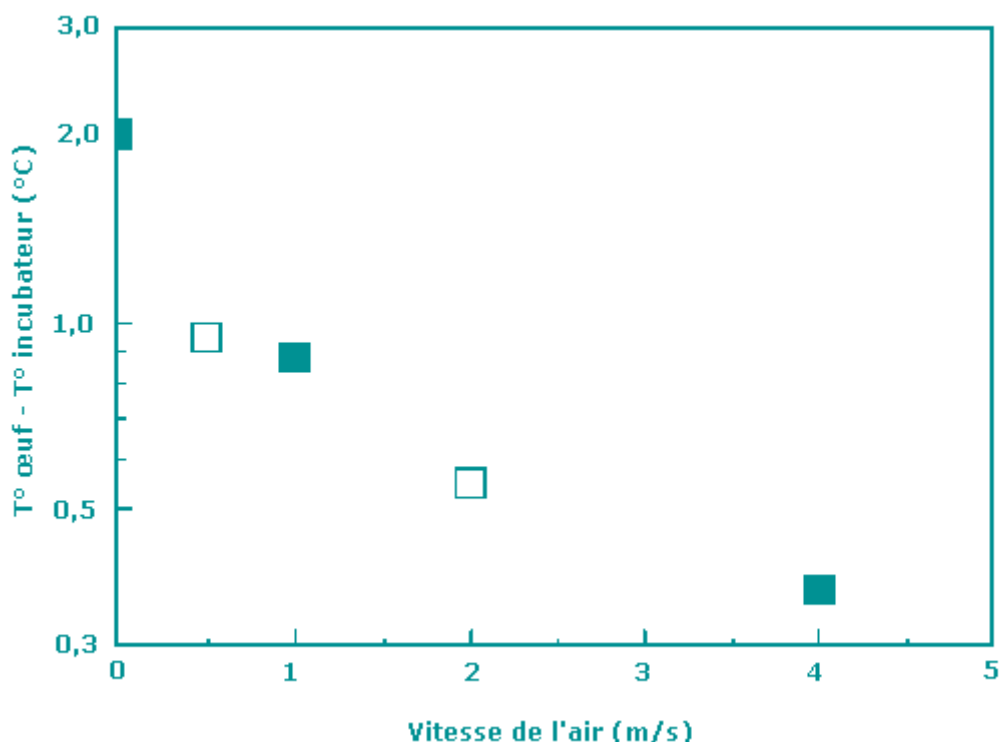
La capacité de l'œuf à échanger la chaleur avec son environnement va non seulement dépendre de sa masse et de la conductance de sa coquille, mais également de la température de l'air du halo qui l'entoure. C'est ce qu'on appelle la conductance thermique de l'œuf.

Elle est très dépendante de la vitesse de l'air et est influencée par le stade de développement des autres œufs dans la machine (même stade de développement en chargement unique, stades différents de développement en chargement multiple).

Sotherland P. *et al* (1987), cités par French N.A. (1997), ont montré que le halo qui entoure l'œuf pouvait représenter une barrière aux échanges thermiques 100 fois plus importante que l'œuf lui-même. Il convient donc de s'assurer que les vitesses d'air autour des œufs sont suffisantes.

Puisque les vitesses d'air ont un effet négligeable sur les pertes en eau au cours de l'incubation, elles n'ont, en théorie, aucune limite. Au sein d'un même incubateur, cependant, les vitesses d'air sont fort variables (de 0,2-0,3 m/s jusqu'à 3-4 m/s) et il apparaît évident que les écarts de température entre l'œuf et son environnement seront d'autant plus importants que les vitesses d'air sont faibles (French N.A., 1997)

**Effet de la vitesse de l'air sur l'écart de température entre l'œuf et la machine**



Échelle logarithmique. Estimations basées sur les modèles de Sotherland P. *et al* (1987, ■) et Meijerhof R. et van Beek G. (1993, □) en employant des œufs de 50 grammes et une production de chaleur métabolique de 100 mW (French N.A., 1997).

L'homogénéité des vitesses d'air au sein d'un même incubateur va dépendre essentiellement des obstacles que l'air va rencontrer. Les principaux sont bien sûr les œufs eux-mêmes mais, surtout, l'espace entre chacun des plateaux d'incubation.

French N.A. (1997) a montré que les vitesses d'air nécessaires pour maintenir une température de coquille constante étaient inversement proportionnelles à la distance qui séparait 2 plateaux d'incubation (mis à l'horizontale mais également en conditions de retournement à 45°).

# INCUBATION

Plus encore, il a montré que les besoins en vitesse d'air étaient d'autant plus importants que le stade de développement sur 2 plateaux d'incubation étaient semblables (chargement unique ou multiple par chariots, contre chargement multiple par plateaux).

### ➔ Les besoins en température.

Ce qui précède montre bien que les consignes de température de la machine ne reflètent pas forcément la température vécue par l'embryon et qu'il convient de faire appel à d'autres indicateurs.

La température de coquille est un bon reflet de la température vécue par l'embryon (les écarts entre la coquille et l'embryon ne dépassent pas souvent les 0,1-0,2°C) et il est donc possible d'adapter les consignes de la machine en fonction des températures relevées au niveau de la coquille.

French N.A. (1997) fait mention des conclusions qui peuvent être tirées des travaux de Lundy H. (1969) et Wilson H.R. (1991) :

- ◆ Pour la plupart des espèces de volailles, la température optimale d'incubation se situe entre 37,0 et 38,0°C (même s'il est possible de faire éclore à des températures variant entre 35,0 et 40,2°C).
- ◆ Les embryons sont plus sensibles à des températures élevées qu'à des températures faibles.
- ◆ Les effets d'une température sous-optimale vont dépendre de son intensité et de la durée pendant laquelle elle sera appliquée.
- ◆ Les embryons semblent être plus sensibles à des températures sous-optimales en début qu'en fin d'incubation.

Les observations de Decuypere E. *et al* (2001) vont dans le même sens : basés sur les travaux de Barott H.G. (1937), ils établissent la température d'incubation, pour une éclosabilité maximale, entre 37,0 et 38,0°C avec une valeur optimale de 37,8°C.

Lourens A. *et al* (2005) ont obtenu les meilleurs résultats d'éclosion et la meilleure qualité des poussins lorsque la température de la coquille a été maintenue à 37,8°C pendant toute la durée de l'incubation. D'après ces mêmes auteurs, des températures insuffisantes pendant la première semaine (36,7°C dans l'essai) retardent le développement embryonnaire et peuvent compromettre les mécanismes de thermorégulation du poussin pendant les 7 premiers jours suivant sa mise en place.

Inversement, des températures élevées en fin d'incubation (38,6°C dans l'essai) semblent augmenter la thermo-tolérance des poussins, améliorant ainsi leur résistance aux coups de chaleur (Hulet R. *et al*, 2007).

Ces observations sont en accord avec celles de French N.A. (1997) : puisque poïkilothermes pendant presque toute la durée de l'incubation, les embryons n'augmentent pas leur consommation d'oxygène lorsque les températures sont faibles. Inversement, ils vont augmenter leur consommation d'oxygène, et donc leur métabolisme, lorsque les températures perçues seront élevées.

Ce qui précède ne veut aucunement dire que la consommation d'oxygène par l'embryon va dépendre de la température. Il semblerait en effet qu'à stade de développement similaire, la consommation cumulée d'oxygène reste la même quelle que soit la température vécue. Même si des mécanismes de croissance compensatrice ont été mis en évidence par certains chercheurs, seule la vitesse de développement semble être affectée (French N.A., 1997).

Molenaar R. *et al* (2010) mentionnent qu'une température de coquille de 37,5-38,0°C au cours de toute la période d'incubation donne les meilleurs résultats d'éclosion et la meilleure qualité des poussins.

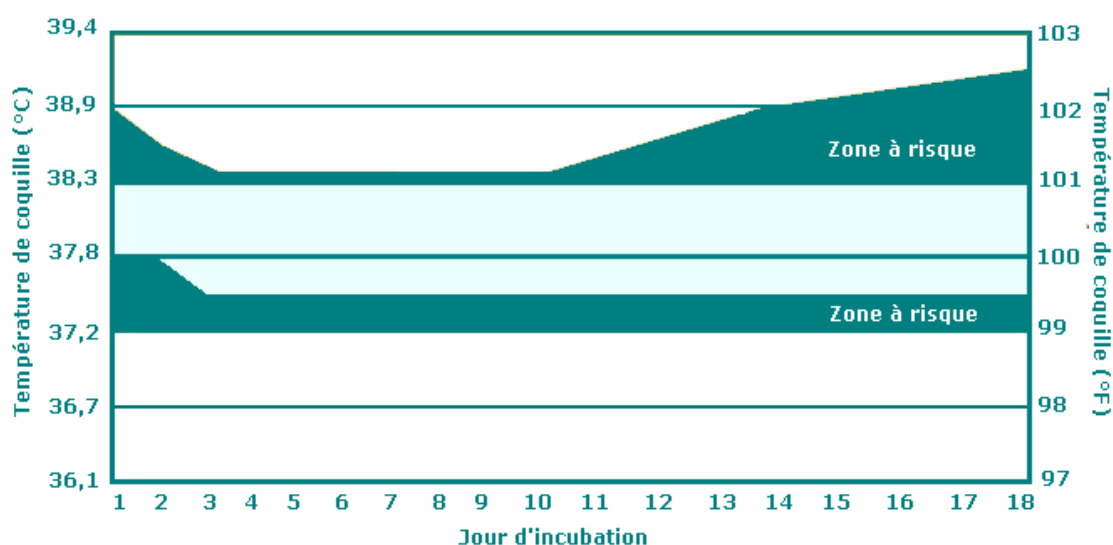
## INCUBATION

Mais, malgré ce qui précède, on connaît encore assez mal les seuils de tolérance de l'embryon. Barott H.G. (1937), cité par Decuypere E. et Michels H. (1992), signale que la température d'incubation ne doit dévier de  $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$  par rapport à la température de consigne ( $37,8^{\circ}\text{C}$ ).

Cette marge, aussi étroite soit-elle, n'indique pas quelles sont les fluctuations possibles, ou quels sont les effets d'une température élevée ou faible pendant une certaine période du développement sur l'éclosion, la croissance ou d'autres caractéristiques (Decuypere E. et Michels H., 1992).

Basé sur des travaux plus récents, French N.A. (2010) définit une marge de tolérance plus large et identifie des zones « à risque » qui peuvent influencer les résultats d'éclosion, la qualité du poussin ou sa croissance ultérieure :

### Température de coquille au cours de l'incubation



Le graphique montre la température de coquille idéale ainsi que les zones « à risque » (au-dessus de la température idéale, risques de résultats d'éclosion ou performances ultérieures sous-optimales ; en dessous de la température idéale, risques d'éclosions retardées).

Adapté de French N.A. (2010)

### Mesurer la température de coquille :

- ◆ Utiliser de préférence un thermomètre à infrarouge (de type auriculaire, par exemple).
- ◆ Relever la température de la coquille, au niveau de l'Équateur de l'œuf, sur une quinzaine d'œufs placés au centre du plateau d'incubation.
- ◆ Répéter l'opération sur 3 ou 4 plateaux à différents endroits de la machine.
- ◆ Si l'incubateur n'est pas équipé d'un couloir central, et qu'il n'est donc pas possible d'y pénétrer, veiller à la rapidité de l'opération.
- ◆ Éliminer les lectures aberrantes (œufs infertiles, embryons morts), calculer la moyenne et l'homogénéité.
- ◆ Adapter les consignes de l'incubateur en fonction des valeurs relevées.



## INCUBATION

### ➔ Recommandations.

#### En chargement unique :

Alors que le chargement unique, de par les consignes de température qui peuvent être employées et le possible réglage des trappes d'aération, peut permettre la satisfaction des besoins des embryons en tout début d'incubation, il peut rencontrer de sérieux problèmes en fin de période si les consignes de température sont trop élevées ou si les vitesses d'air entre les plateaux sont insuffisantes.

Il convient donc de s'assurer que les incubateurs utilisés ont les capacités de ventilation et de refroidissement nécessaires.

Ce qui précède nous amène aux recommandations suivantes :

Jour	Consigne de température		Température de coquille recherchée (°F)	Ouverture des trappes de ventilation
	Minimum (°F)	Maximum (°F)		
-8/12	77,0	81,0	-	0%
0	100,4	100,5	-	0%
1	100,4	100,5	100,0-100,2	0%
2	100,2	100,3	100,0-100,2	0%
3	100,2	100,3	100,0-100,2	0-10%
4	100,0	100,1	100,0-100,2	0-10%
5	99,9	100,0	100,0-100,2	10-20%
6	99,9	100,0	100,0-100,2	10-20%
7	99,8	99,9	100,0-100,5	20-30%
8	99,8	99,9	100,0-100,5	20-30%
9	99,7	99,9	100,0-100,5	30-40%
10	99,5	99,8	100,0-100,5	30-40%
11	99,2	99,6	100,0-101,0	40-50%
12	98,8	99,2	100,0-101,0	40-50%
13	98,5	99,0	100,0-101,0	40-50%
14	98,3	98,8	100,0-101,0	50-60%
15	98,0	98,5	100,0-101,0	50-60%
16	98,0	98,5	100,0-101,0	50-60%
17	98,0	98,5	100,0-101,0	60-70%
18	98,0	98,5	100,0-101,0	60-70%

N.B. : Le type de machine, sa capacité, son taux de remplissage, la ventilation en salle d'incubation ainsi que celle au-dessus des machines peuvent influencer sur les consignes à employer. Se renseigner auprès du fabricant.

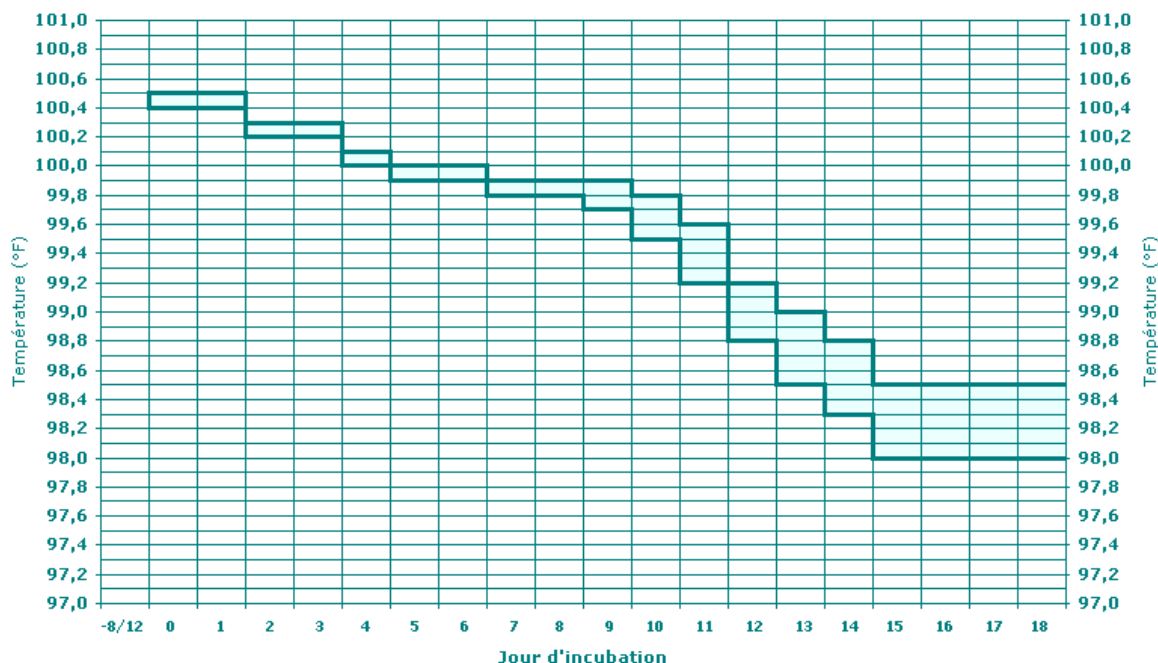
On préférera les consignes hautes lorsque les œufs seront issus de jeunes troupes, lorsque la souche incubée aura une croissance lente ou lorsque la conductance des coquilles sera élevée. Inversement, on se rapprochera des consignes basses lorsque les œufs seront issus de vieux troupes, lorsque la souche incubée aura une croissance rapide, ou lorsque la conductance des coquilles sera faible.

Les températures de coquille indiquées s'appliquent à toutes souches et à tous types d'œufs.

# INCUBATION

Le graphique ci-dessous montre l'évolution des consignes de température au cours de la période d'incubation :

Profil de température type en chargement unique



### En chargement multiple :

Puisqu'il est possible d'adapter les consignes de température en fonction du stade de développement de l'embryon, seul le chargement unique peut permettre d'obtenir une température de coquille constante tout au long de l'incubation.

En chargement multiple, s'il est vrai que la chaleur produite par les embryons en fin d'incubation est employée pour chauffer les œufs dont les embryons sont en début de développement, la consigne est unique et elle ne répond donc pas forcément aux besoins de tous les individus : les températures de coquille seront souvent en dessous des besoins en début d'incubation, au-dessus en fin (Molenaar R. *et al*, 2010).

Les recommandations ci-dessous s'appuient davantage sur la capacité des incubateurs et leur faculté à retenir ou évacuer la chaleur produite que sur les besoins individuels des embryons :

Capacité de l'incubateur	Consigne de température		Ouverture des trappes de ventilation
	Minimum (°F)	Maximum (°F)	
0-25 000 œufs	99,8	99,9	30-40%
25 000-50 000 œufs	99,7	99,8	40-50%
50 000-75 000 œufs	99,6	99,7	40-60%
75 000-100 000 œufs	99,5	99,6	40-70%
+ 100 000 œufs	99,4	99,5	40-70%

N.B. : Les recommandations ci-dessus supposent que l'ambiance des salles d'incubation ainsi que l'air qui est introduit dans les machines sont parfaitement maîtrisés (température, humidité et volumes).



# INCUBATION

## ➔ HUMIDITÉ D'INCUBATION

Les teneurs en eau de l'œuf et du poussin d'un jour sont très similaires : 74-75% pour l'œuf (coquille exclue, Sauveur B., 1988), et 72-73% pour le poussin d'un jour (Medway W. et Kare M.R., 1957). Les pertes en eau au cours de l'incubation doivent donc correspondre plus ou moins à la quantité d'eau produite par le métabolisme des graisses contenues dans le jaune (voir page 26). C'est d'autant plus vrai que le métabolisme des lipides engendre autant d'eau qu'il n'en requiert (Ar A. et Rahn H., 1980, cités par Baggott G.K., 2001).

En 1974, Rahn H. et Ar A. avaient indiqué qu'au cours de l'incubation, les pertes en eau d'un œuf étaient normalement de 18%.

Ar A. (1991), cité par Baggott G.K. (2001), mentionne que pour la plupart des espèces de volailles, il est démontré qu'une perte totale d'eau d'environ 20% par rapport à la masse initiale, permet d'avoir une concentration d'eau très similaire entre le poussin et l'œuf.

Romanoff A.L. (1968), cité par Baggott G.K. (2001), a montré qu'au cours de toute la période d'incubation, 28,6 grammes d'eau « disparaissent » de l'albumen et 7,2 grammes du jaune. Inversement, 24,7 grammes « apparaissent » au niveau des tissus de l'embryon, et 2,5 grammes au niveau du jaune résiduel. Le bilan est donc de -8,6 grammes. Ces valeurs sont proches de celles décrites par Sauveur B. (1988). D'après cet auteur, la production d'eau est de 8,54 grammes au cours des 18 premiers jours d'incubation, de 10,31 grammes à 21 jours d'incubation.

Meijerhof R. (2009a) indique que la production d'eau métabolique représente de 12 à 14% de la masse initiale de l'œuf et qu'au moins 9 à 10% de cette eau doit être éliminée de façon à favoriser la formation d'une chambre à air d'un volume suffisant pour pouvoir enclencher la respiration pulmonaire.

Hays F.A. et Spear E.W. (1951), cités par Molenaar R. *et al* (2010), ont observé que les poussins pouvaient éclore lorsque les pertes en eau cumulées, au moment du bêcheage interne, variaient entre 6,5 et 12,0%.

Tona K. *et al* (2001a) ont obtenu les meilleurs résultats d'éclosion lorsque les pertes en eau cumulées, à 18 jours d'incubation, étaient comprises entre 10,9 et 11,1%. Ils ont observé que des pertes plus élevées entraînaient moins de problèmes d'éclosion que des pertes plus faibles. Ils ont également trouvé des relations directes entre l'âge du troupeau, le poids de l'œuf et les pertes en eau (en grammes). Néanmoins, ils n'ont pas observé de relation entre l'âge du troupeau, le taux d'éclosion ou la mortalité embryonnaire et le pourcentage de perte en eau.

Quand les pertes en eau, avant le bêcheage interne, sont inférieures à 6,5%, la taille de la chambre à air qui en résulte n'est pas suffisante pour enclencher la respiration pulmonaire. Inversement, quand les pertes dépassent les 14,0%, les risques de déshydratation augmentent (Molenaar R. *et al*, 2010). D'après Meijerhof R. (2009a), les risques de déshydratation apparaissent lorsque les pertes se rapprochent des 17-18%.

Toujours est-il que les pertes de poids au cours de l'incubation sont essentiellement liées aux pertes en eau (Tona K. *et al*, 2001a) et que celles-ci ne dépendent que de la conductance des coquilles et de l'humidité ambiante. Aucun autre facteur n'intervient.

Puisque la conductance des coquilles varie fortement d'un œuf à l'autre, il ne peut y avoir une perte optimale, mais plutôt une marge optimale. Molenaar R. *et al* (2010) l'évaluent entre 6,5 et 14,0%.

Ces mêmes auteurs suggèrent que, puisque le but essentiel des pertes en eau est de créer une chambre à air d'un volume suffisant, le moment auquel l'eau est perdue est peut-être sans importance pourvu que les pertes cumulées permettent l'enclenchement de la respiration pulmonaire.

## INCUBATION

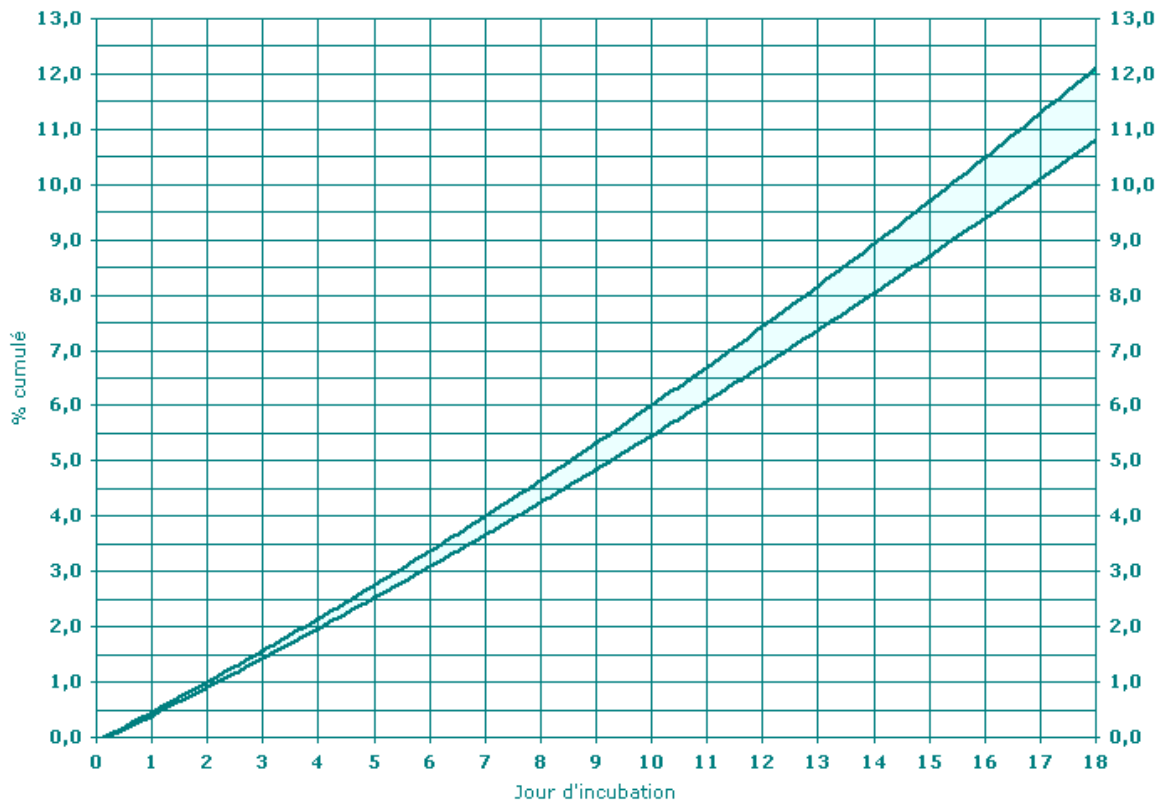
Robertson I. (1961a) a néanmoins trouvé que des taux d'humidité excessifs (75-80%) entraînaient une augmentation de la mortalité embryonnaire pendant les 10 premiers jours de l'incubation. Il a également observé que les taux d'éclosion restaient satisfaisants lorsque l'hygrométrie variait entre 40 et 70%, avec un niveau optimum de 50%.

### ➔ **Recommandations.**

Les pertes en eau au cours de l'incubation n'ont d'effets négatifs sur les résultats d'éclosion que si elles dévient des marges précédemment citées (Molenaar R. *et al*, 2010). Il convient donc de régler les taux d'humidité dans l'incubateur de façon à obtenir des pertes en eau comprises entre ces valeurs.

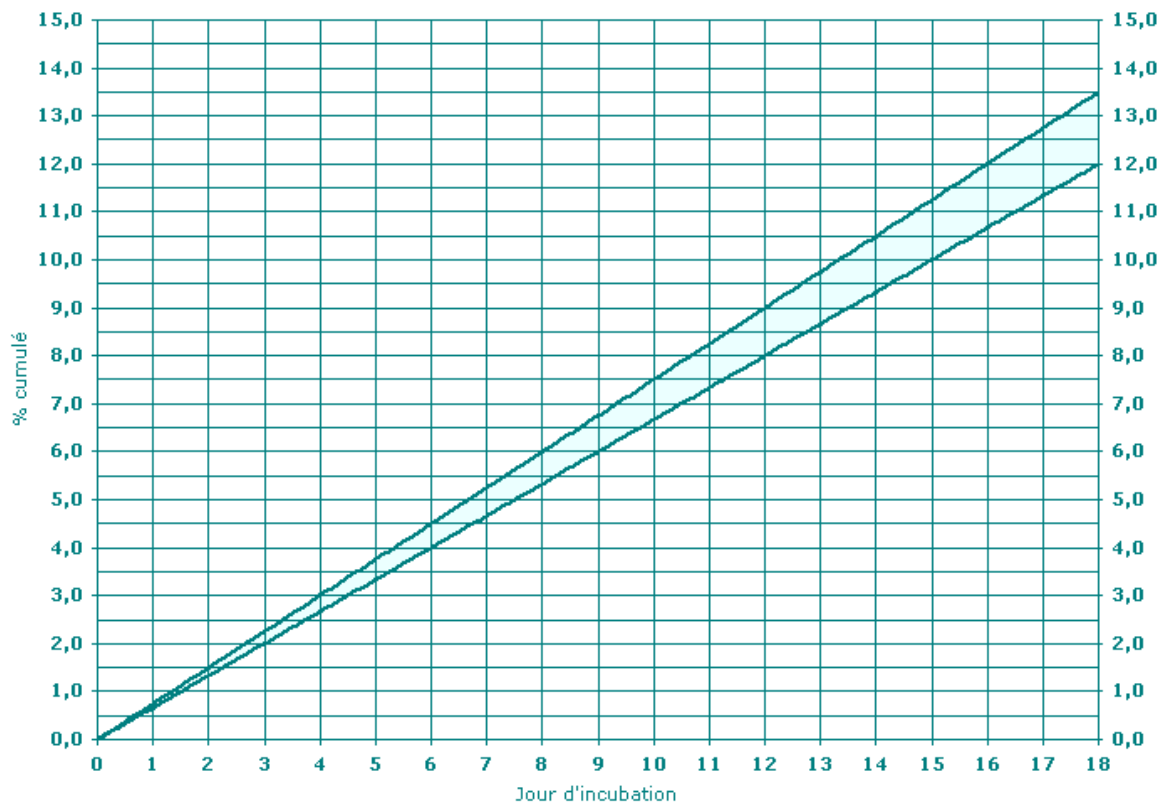
En conditions pratiques, que ce soit en chargement unique ou multiple, les taux d'humidité dans la machine seront le plus souvent réglés entre 50 et 55%. La dynamique des pertes sera un peu influencée par le type de chargement :

- ◆ De par le réglage des trappes d'aération, légèrement exponentielle en chargement unique :



## INCUBATION

- ◆ Plutôt linéaire en chargement multiple :



## ➔ LE RETOURNEMENT

Le retournement des œufs joue un rôle favorable en évitant que le jaune ne vienne adhérer à la membrane coquillère (Sauveur B., 1988) ou que l'allantoïde ne se colle à l'embryon. Il permet également le développement de l'aire vasculaire (*area vasculosa*), celui de la membrane chorio-allantoïdienne (Cutchin H.R. *et al*, 2009), et facilite l'inclusion de l'albumen dans l'allanto-chorion (Sauveur B., 1988).

Il évite ainsi qu'une partie de l'albumen ne reste en dehors de l'allanto-chorion, qu'il ne s'interpose entre celui-ci et les membranes coquillères, et qu'il ne réduise ainsi les échanges gazeux (Decuyper E. *et al*, 2001).

Des œufs non retournés engendrent souvent des embryons aux pressions d'oxygène insuffisantes dans les artères et aux taux d'hématocrites élevés (Decuyper E. *et al*, 2001).

Le retournement facilite également la fermeture complète et opportune de la membrane chorio-allantoïdienne au niveau du petit bout de l'œuf, une accumulation de protéines dans le liquide amniotique et une meilleure utilisation de l'albumen (Tona K. *et al*, 2005)

En fin d'incubation, il prévient les malpositions de l'embryon (Tona K. *et al*, 2003).

Mais la question de l'angle, de la période pendant laquelle le retournement doit être employé et de sa fréquence reste encore posée.

# INCUBATION

Cutchin H.R. *et al* (2009) ont montré qu'un angle de retournement de 15° (par rapport à la verticale), entraînait une mortalité embryonnaire en deuxième partie d'incubation 10 fois supérieure à celle qu'on observait lorsque les œufs étaient retournés d'un angle de 45°.

Dans la même étude, ils ont trouvé que l'incidence d'embryons présentant un excès d'albumen résiduel à 18 jours d'incubation augmentait de près de 20 fois. Des éclosabilités et mortalités embryonnaires intermédiaires étaient observées lorsque les œufs étaient retournés d'un angle de 30°.

Funk E.M. et Forward J.F. (1953), cités par Elibol O. et Brake J. (2006a), ont trouvé que les taux d'éclosion augmentaient au fur et à mesure que l'angle de retournement passait de 20 à 45°. Ils n'ont cependant pas observé de gros écarts entre des angles de 40 et de 45°.

Wilson H.R. (1991) mentionne que les œufs doivent être retournés d'un angle de 45 à 70° (par rapport à la verticale). Pourtant, Funk E.M. et Forward J.F. (1960), cités par Elibol O. et Brake J. (2006a), en comparant des angles de 30, 45, 60 et 75°, ont obtenu les meilleurs résultats lorsque les œufs étaient retournés de 45°.

Alors que Elibol O. et Brake J. (2006a) n'ont trouvé aucun effet sur les taux d'éclosion lorsque l'angle de retournement variait entre 35 et 45°, ils ont établi une relation inversement proportionnelle entre angle de retournement et incidence des malpositions. Ils ont également observé qu'une augmentation de la fréquence des retournements pouvait pallier les effets d'un angle insuffisant.

Robertson I. (1961b) a trouvé que la fréquence de retournement (sur une base d'un angle de 45°) avait un effet notoire sur les résultats d'éclosion. Il a ainsi déterminé qu'une fréquence de 96 retournements par jour donnait de meilleurs résultats que des fréquences plus faibles, et que même des fréquences de 480 fois par jour ne pénalisaient que très peu les taux d'éclosion.

Elibol O. et Brake J. (2003) ont pratiquement trouvé les mêmes résultats : en comparant différentes fréquences de retournement entre le 3<sup>ème</sup> et le 11<sup>ème</sup> jour d'incubation, ils ont trouvé qu'une fréquence de 96 retournements donnait de meilleurs résultats que des fréquences 2 ou 4 fois inférieures.

Wilson H.R. (1991) mentionne qu'une éclosabilité maximale est obtenue lorsque les œufs sont retournés 96 fois par jour mais qu'une fréquence de 24 fois est plus pratique. À l'image de Deeming D. (1990), cité par Decuypere E. *et al* (2001), il considère que la période la plus importante pour le retournement est celle comprise entre le 3<sup>ème</sup> et le 7<sup>ème</sup> jour d'incubation, et qu'au-delà du 13<sup>ème</sup> jour les effets du retournement sont négligeables.

Dans une autre étude, pourtant, Tona K. *et al* (2005) concluent que le retournement est nécessaire jusqu'au 12<sup>ème</sup> jour d'incubation mais qu'il ne convient pas de l'arrêter avant le 16<sup>ème</sup> jour. Ils ont observé que le poids de l'embryon semblait être en relation avec le jour de fin du retournement et ils ont donc émis l'hypothèse que celui-ci pouvait avoir un effet stimulateur sur la croissance.

Ces auteurs avaient démontré en 2003 que des retournements jusqu'au 18<sup>ème</sup> jour d'incubation avaient un effet bénéfique sur les résultats d'éclosion. Ils avaient ainsi observé que, même si les périodes pendant lesquelles le retournement était employé (12, 15 ou 18 jours dans l'essai) ne semblaient pas avoir d'effets sur le niveau de corticostérone dans le sang (indicateur du niveau de stress de l'embryon), la concentration en CO<sub>2</sub> de la chambre à air, et celle des hormones thyroïdiennes dans le sang (indicateurs de l'activité métabolique) augmentaient lorsque le retournement était maintenu jusqu'à 18 jours. Or, ces mêmes auteurs avaient déjà démontré que des niveaux élevés d'hormones thyroïdiennes (en particulier la T<sub>3</sub>, tri-iodothyronine) avaient un effet positif sur les taux d'éclosion.

Tona K. *et al* (2001b) ont observé que les taux d'éclosion augmentaient au fur et à mesure que l'arrêt du retournement était retardé (15, 16, 17 et 18 jours dans l'essai) et que cet effet était d'autant plus bénéfique que les œufs étaient issus de vieux troupeaux.

# INCUBATION

Elibol O. et Brake J. (2006b) n'ont pas observé de gros écarts d'éclosion lorsque le retournement a été interrompu à 8, 10, 12 ou 14 jours d'incubation. Ils concluent donc que le retournement peut être arrêté dès le 8<sup>ème</sup> jour d'incubation.

Dans la même étude, néanmoins, ils ont trouvé une forte interaction entre âge du troupeau donneur et fréquence des retournements (plus âgé le lot, plus bénéfique l'augmentation de la fréquence des retournements).

### ➔ **Recommandations.**

Alors que l'intérêt d'un angle de retournement de 45° semble susciter peu de controverses, le moment de son arrêt et sa fréquence semblent encore soulever des questions. Les essais que nous avons réalisés dans nos propres couvoirs ont clairement montré qu'une augmentation de la fréquence des retournements avait un effet bénéfique sur les taux d'éclosion. Il convient donc, là où ceci est possible, de privilégier les retournements toutes les 15 ou 30 minutes plutôt que toutes les heures.

L'arrêt du retournement ne peut être envisagé que si celui-ci n'entraîne pas la formation de poches de chaleur dans la machine. French N.A. (1997) a montré que les vitesses d'air requises pour évacuer la chaleur produite par l'embryon diminuaient lorsque les plateaux d'incubation étaient maintenus à l'horizontale. Cependant, ceci peut favoriser la formation de zones plus chaudes dans la machine, en particulier là où les vitesses d'air sont normalement les moins importantes.

Maintenir le retournement jusqu'au transfert et travailler à des fréquences plus élevées que d'habitude peut éviter la formation de poches de chaleur et réduire ainsi indirectement les besoins en vitesse d'air.

## ➔ LE CO<sub>2</sub>

Les échanges gazeux au cours de l'incubation jouent un rôle primordial dans le développement et la viabilité de l'embryon, les résultats d'éclosion, la croissance et la physiologie du poussin.

Molenaar R. *et al* (2010) font état des seuils de tolérance de l'embryon : alors qu'il ne tolérerait que 1% de CO<sub>2</sub> au cours des 4 premiers jours, il pourrait en supporter jusqu'à 3% au 5<sup>ème</sup> jour d'incubation, et même jusqu'à 5% dès le 9<sup>ème</sup> jour. Mais, alors que ces niveaux ne semblent pas avoir d'effets négatifs sur les taux d'éclosion, on sait encore assez mal comment ils peuvent altérer le développement embryonnaire.

La consommation d'oxygène de l'embryon augmente de façon exponentielle pendant les 2 premières semaines d'incubation. Puisqu'elle est en relation directe avec la surface de l'aire vasculaire et la vitesse de croissance de la membrane chorio-allantoïdienne, il est suggéré que l'hypoxie <sup>et</sup>/ou l'hypercapnie pendant la première partie de l'incubation favorisent le développement vasculaire (Decuyper E. *et al*, 2006).

Dans le même sens, puisque le pH idéal pour le démarrage du développement embryonnaire varie entre 7,9 et 8,4 (voir page 17) ou entre 8,2 et 8,8 (voir page 18), des niveaux relativement élevés de CO<sub>2</sub> en tout début d'incubation doivent faciliter la croissance de l'embryon. Molenaar R. *et al* (2010) font état des recherches à ce sujet : alors que certaines études ont montré que des concentrations de 2 à 4% de CO<sub>2</sub> pendant les 48 premières heures d'incubation réduisaient le pH de l'albumen et favorisaient le développement de l'embryon et des annexes embryonnaires, d'autres études ont trouvé que ces mêmes niveaux avaient un effet négatif sur les taux d'éclosion.

Sur la dinde, des travaux ont montré que des niveaux de CO<sub>2</sub> de 0,3% pendant les 10 premiers jours de l'incubation augmentaient les taux d'éclosion de 5% par rapport à des niveaux de 0,1%.

Inversement, sur la poule cette fois-ci, il a été montré que des niveaux de 0,7-0,8% de CO<sub>2</sub> pendant les 5 premiers jours pouvaient avoir un effet négatif sur l'éclosion et la vitesse du développement embryonnaire.

### INCUBATION

Molenaar R. *et al* (2010) mentionnent un certain nombre de travaux où il est montré qu'une augmentation progressive des taux de CO<sub>2</sub> au cours des 10 premiers jours d'incubation (jusqu'à des niveaux de 0,7-1,5%) accélère le développement embryonnaire, mais son effet sur les taux d'éclosion reste encore nuancé.

Decuypere E. *et al* (2006) montrent qu'une augmentation progressive du CO<sub>2</sub> pendant les 10 premiers jours (jusqu'à des niveaux de 1,0-1,5%) tend à augmenter la lumière aortique, accroît la pression de CO<sub>2</sub> dans la chambre à air, accélère le développement embryonnaire et induit des fenêtres d'éclosion plus étroites.

Ils ont, en outre, observé une augmentation des taux de corticostérone et d'hormone T<sub>3</sub> dans le sang. Puisque la première est impliquée dans le métabolisme des hormones thyroïdiennes et des glucocorticoïdes, et la deuxième dans la préparation du bêcheage et de l'éclosion, elles expliquent des temps d'incubation plus courts.

Sauveur B. (1988) affirme que la teneur en oxygène de l'air admis ne doit jamais descendre en dessous de 20,5%, seuil en dessous duquel son prélèvement par l'embryon devient trop difficile. Dorn D.J. (2010) mentionne cependant que l'hypercapnie induite pendant les premiers jours de l'incubation (du fait de la fermeture des trappes d'aération) provoque une hypoxie modérée, de l'ordre de 19% d'O<sub>2</sub> dans la machine.

La réponse des embryons à des niveaux modérés d'hypoxie, en particulier au cours de leur deuxième semaine d'incubation, va essentiellement dépendre de leur métabolisme et de leur vitesse de croissance. Dorn D.J. (2010) a ainsi observé qu'une hypoxie modérée entraînait une hyperplasie cardiaque et une hypertrophie de l'embryon uniquement chez des souches à croissance rapide.

Il mentionne par ailleurs que l'embryon est particulièrement sensible à l'hypoxie pendant la période qui va du 6<sup>ème</sup> au 12<sup>ème</sup> jour d'incubation (période de forte croissance).

#### ➔ **Recommandations.**

Les niveaux de CO<sub>2</sub> requis pendant la première partie de l'incubation ne sont donc pas encore bien identifiés mais il apparaît clairement qu'ils vont essentiellement dépendre du potentiel de croissance de la souche.

Néanmoins, il est probable que leur augmentation progressive jusqu'à un niveau de 0,5-0,7% puisse être bénéfique au développement de l'aire vasculaire et de l'embryon lui-même.

## INCUBATION

### En chargement unique :

Jour	Taux de CO <sub>2</sub> dans l'incubateur	Ouverture des trappes de ventilation
-8/12	-	
0	-	0%
1	0,1-0,2%	0%
2	0,1-0,2%	0%
3	0,3-0,5%	0%
4	0,3-0,5%	0-10%
5	0,5-0,7%	0-10%
6	0,5-0,7%	10-20%
7	0,5-0,7%	10-20%
8	0,3-0,5%	20-30%
9	0,3-0,5%	20-30%
10	0,3-0,5%	30-40%
11	0,3-0,5%	30-40%
12	0,2-0,4%	40-50%
13	0,2-0,4%	40-50%
14	0,2-0,4%	40-50%
15	0,2-0,4%	50-60%
16	0,2-0,4%	50-60%
17	0,2-0,4%	50-60%
18	0,2-0,4%	60-70%

### En chargement multiple :

Puisque le réglage des trappes d'aération n'est pas ici possible, le taux de CO<sub>2</sub> dans l'incubateur sera maintenu à 0,3% pendant toute la période.

## ➔ TAUX DE REMPLISSAGE DES MACHINES

On a vu qu'au cours de l'incubation, tout en gardant un certain degré de tolérance, l'embryon nécessitait de conditions particulières d'ambiance. On a vu également que des facteurs tels que le potentiel de croissance de la souche, le poids de l'œuf ou la conductance des coquilles pouvaient modifier ces conditions et que l'idéal serait de pouvoir incuber des œufs homogènes à tous points de vue.

Mais l'environnement immédiat de l'œuf va également dépendre de 2 grands facteurs :

- ◆ Le taux de fertilité.
- ◆ Le taux de remplissage de la machine.

Alors qu'au cours de son développement l'embryon traverse des phases endothermiques et exothermiques, les œufs infertiles ne nécessitent pas ni ne produisent de chaleur. Leur température sera toujours inférieure à celle de l'embryon en développement, et leur incidence et leur répartition au sein d'un même plateau d'incubation pourront affecter les conditions perçues par l'embryon.

L'œuf infertile aura toujours tendance à absorber la chaleur produite et aura donc toujours tendance à refroidir l'embryon. Puisque ses pertes en eau sont bien inférieures à celles d'un embryon en développement, il pourra affecter le taux d'hygrométrie dans la machine. Enfin, ne dégageant pas de CO<sub>2</sub>, il pourra pénaliser les taux de ce gaz dans l'incubateur.

Puisque seul un environnement homogène permet des résultats d'éclosion satisfaisants, il convient donc de s'assurer que la conduite des troupeaux correspond aux recommandations de la souche.

### INCUBATION

Bien qu'à une échelle différente, le principe reste le même pour ce qui est du taux de remplissage de la machine : seules des machines remplies au minimum à 75-80% de leur capacité pourront permettre des conditions homogènes d'ambiance.

Si, pour des impératifs de planning ou de production, les taux de remplissage doivent être inférieurs, la distribution des plateaux et chariots (voire même celle des œufs au sein d'un même plateau) se fera de la façon la plus uniforme possible.

Dans le cas contraire, les vitesses d'air et donc les conditions de température, d'humidité et de taux de CO<sub>2</sub>, seront affectées.

### ➔ DÉSINFECTION AU COURS DE L'INCUBATION

Il y a quelques années, la fumigation des œufs au chargement, et même la désinfection au cours de l'incubation, étaient des pratiques courantes dans nombre de couvoirs.

Aujourd'hui, la fumigation se réalise le plus souvent avant la mise en machine et la désinfection en incubation est une pratique de moins en moins répandue. Ceci est peut être lié au fait que les risques de contaminations croisées au sein d'un même incubateur sont très faibles et qu'il n'est peut être donc pas utile de désinfecter en permanence.

Les essais que nous avons réalisés dans nos propres couvoirs à cet égard n'ont montré d'effets ni positifs ni négatifs.

Mais, alors que les risques de contaminations croisées restent faibles, il va de soi qu'aucun relâchement ne peut être consenti au niveau hygiène et propretés générales des salles d'incubation et des machines.

La désinfection en incubation reste possible : lorsque celle-ci se fait par évaporation, on utilisera le plus souvent du formol à 5-6%.

Lorsque la désinfection se fait par pulvérisation, les doses devront respecter les recommandations du fournisseur. Une attention particulière sera portée au choix du désinfectant : certains d'entre eux peuvent en effet colmater les buses et empêcher ainsi le bon fonctionnement des systèmes de brumisation.

### ➔ PARAMÈTRES D'AMBIANCE DES SALLES D'INCUBATION

Les paramètres d'ambiance des salles d'incubation sont surtout importants lorsque les incubateurs prélèvent l'air nécessaire à leur fonctionnement à partir de celles-ci ou lorsque le préchauffage est réalisé en couloir d'incubation. Les conditions à respecter seront :

Température	Humidité	Volumes d'air
25°C	50-55%	1,0-1,5 m <sup>3</sup> /heure/100 œufs

Lorsque l'air est introduit directement dans les machines, ou lorsqu'il est prélevé depuis le faux plafond, il devra respecter les conditions préconisées par le fabricant.



### TRANSFERT

Il se réalisera de préférence au cours du 18<sup>ème</sup> jour d'incubation. Il pourra être manuel ou automatique mais, dans tous les cas, une attention particulière devra être portée à la rapidité de l'opération, à la manipulation des plateaux d'incubation et paniers d'éclosion au cours du dépilage et empilage, au bon réglage des suceuses ou ventouses et à l'amplitude de mouvement du bras de la machine.

Un mirage pourra être effectué pendant le transfert et les œufs « clairs » (infertiles et embryons morts très précocement) pourront être retirés. Cependant, si le taux d'œufs « clairs » dépasse les 15%, il est judicieux de combler les espaces vides par des embryons en développement. Ceci permet une meilleure répartition de la chaleur et évite ainsi que les œufs se refroidissent.

Si le taux d'œufs clairs est tel que des paniers d'éclosion se retrouvent vides, ceux-ci sont alors placés au bas des chariots d'éclosion.

On veillera à bien laver et désinfecter les suceuses une fois le transfert terminé, pour éviter les contaminations. Celles-ci, ainsi que les paniers d'éclosion, devront être complètement secs avant toute nouvelle utilisation.

### ➔ PARAMÈTRES D'AMBIANCE DE LA SALLE DE TRANSFERT

Les conditions d'ambiance de la salle de transfert sont identiques à celles décrites pour les salles d'incubation :

Température	Humidité
25°C	50-55%

### ÉCLOSION

Au moment de l'oviposition, l'œuf (coquille incluse) contient environ 65,6% d'eau, 12,1% de protéines, 10,5% de graisses, 0,9% d'hydrates de carbone et 10,9% de minéraux. C'est avec ces seuls éléments que l'embryon doit mener à bien son développement.

Les protéines sont essentiellement employées pour la croissance. De la quantité initiale, environ 48% est retrouvée chez le poussin, 47% est laissée dans le jaune résiduel, 2,5% est retrouvée dans l'allantoïde et seulement 2,5% est perdue, vraisemblablement suite à son catabolisme (Molenaar R., 2010).

Comme on l'a vu plus haut, les graisses, présentes essentiellement dans le jaune, constituent la principale source d'énergie de l'embryon (environ 90% de l'énergie employée provient des graisses). Leur oxydation s'accroît dès le 9<sup>ème</sup> jour d'incubation, au moment même où le taux de croissance de l'embryon s'accélère. De la quantité initiale, environ 20% est retrouvée chez le poussin, 40% est laissée dans le jaune résiduel, et 40% est brûlée (Molenaar R., 2010).

Les teneurs en hydrates de carbone sont très faibles dans l'œuf, et le restent ainsi pendant presque toute la durée de l'incubation. La plupart des sucres sont consommés pendant la première semaine, période pendant laquelle la membrane chorio-allantoïdienne n'est pas encore en place et ne peut donc fournir l'oxygène nécessaire au métabolisme des graisses.

Un deuxième pic de métabolisme du glucose est observé en fin d'incubation. Des ressources énergétiques supplémentaires sont nécessaires à l'éclosion, la disponibilité en oxygène diminue et l'embryon bascule d'un métabolisme grasseux à un métabolisme carbohydraté.

Il est donc indispensable que l'embryon puisse, au cours de son développement, avoir fait des réserves suffisantes. Le glucose est essentiellement emmagasiné sous forme de glycogène dans le foie, les muscles, le cœur et la membrane péri-vitelline (Molenaar R., 2010). Quand le poussin se prépare à l'éclosion, le glycogène hépatique est mobilisé en priorité et, la glycolyse anaérobie qui en résulte, augmente les niveaux de lactate dans le sang (Molenaar R. 2010).

On peut déduire de ce qui précède que la température et l'oxygénation sont les deux facteurs essentiels à l'éclosion et que des conditions d'incubation sous-optimales auront des conséquences sur la viabilité et le développement embryonnaires.

### ➔ TEMPÉRATURE D'ÉCLOSION

Les graphiques des pages 24 et 25 montrent que la production de chaleur de l'embryon atteint un plateau vers les 16<sup>ème</sup>-17<sup>ème</sup> jours d'incubation. Contrairement à ce qu'on pourrait penser, ce palier n'est pas l'expression de la production maximale de chaleur de l'embryon, mais plutôt celle d'un défaut d'oxygénation.

Decuypere E. et Michels H. (1992) mentionnent qu'en fin d'incubation le flux maximal d'oxygène, lui-même dépendant de la perméabilité de la cuticule, de la coquille et des membranes coquillères, est atteint.

Christensen V.L. *et al* (2001) font état des aspects théoriques à ce sujet : chez la dinde, la consommation d'oxygène augmente de façon exponentielle jusqu'au 25<sup>ème</sup>-26<sup>ème</sup> jour d'incubation environ. À ce moment, les besoins en oxygène dépassent le flux maximal et l'embryon fait appel à d'autres sources d'énergie. Il s'est préparé à cette phase pendant tout son développement en emmagasinant du glycogène dans nombre d'organes.

Chez les volailles, le cœur a la caractéristique d'en stocker très peu et d'avoir une activité glycogénique très limitée. C'est le foie qui fournit le glucose au cœur, et ce sont les hormones thyroïdiennes qui sont responsables de son transport.

### ÉCLOSION

L'embryon étant poïkilotherme, toute augmentation de la température vécue entraînera un accroissement de sa demande en oxygène. Si celui-ci fait défaut, l'embryon basculera plus rapidement et plus intensément vers un métabolisme carbohydraté. C'est ce qui explique les éventuelles atteintes cardiaques et les taux de jaunes résiduels élevés, largement décrits par le passé.

Mais il est également démontré que des températures élevées en fin d'incubation réduisent les niveaux de maltase dans le jéjunum (indicateurs de la maturation de l'intestin) (Wineland M.J. *et al*, 2001) et affectent la différenciation des chondrocytes (indicateurs de la minéralisation osseuse) (Yalçın S. *et al*, 2007).

De récentes techniques consistent à provoquer des « coups de chaud » de courte durée en fin d'incubation. L'objectif est de soumettre l'embryon à des conditions de « stress », supposées lui conférer une meilleure résistance ultérieure à des conditions d'élevage défavorables.

#### ➔ **Recommandations.**

Il n'y a donc aucun intérêt à augmenter la température en éclosoir. Au contraire, certains chercheurs trouvent que des températures relativement faibles, outre le fait d'entraîner un rallongement de la période totale d'incubation, favorisent de meilleures performances en élevage.

Jour	Consigne de température		Ouverture des trappes de ventilation
	Minimum (°F)	Maximum (°F)	
19	98,0	98,5	30-50%
20	98,0	98,5	30-50%
21	97,0	98,0	50-70%

N.B. : Le type de machine, sa capacité, son taux de remplissage, la ventilation en salle d'éclosion ainsi que celle au-dessus des machines peuvent influencer sur les consignes à employer. Se renseigner auprès du fabricant.

On préférera les consignes hautes lorsque les œufs seront issus de jeunes troupeaux, lorsque la souche incubée aura une croissance lente ou lorsque la conductance des coquilles sera élevée. Inversement, on se rapprochera des consignes basses lorsque les œufs seront issus de vieux troupeaux, lorsque la souche incubée aura une croissance rapide, ou lorsque la conductance des coquilles sera faible.

### ➔ HUMIDITÉ D'ÉCLOSION

On a vu que tant qu'elle se situe dans des limites permettant des pertes en eau adéquates, l'humidité au cours de l'incubation a une moins grande importance que les autres paramètres.

En éclosion, le réglage de l'hygrométrie dépendra essentiellement des pertes de poids observées au cours du transfert et visera à limiter le risque d'une déshydratation excessive.

Jour	Consigne d'humidité
19	50-55%
20	55-60%
21	60%

N.B. : Dès le début du bêchage, et surtout en pleine éclosion, les taux d'humidité réels pourront être supérieurs à ceux des consignes. Veiller à ce que l'alarme d'humidité élevée ne s'enclenche qu'au-delà de 70-75% d'humidité.

### ➔ LE CO<sub>2</sub>

On a vu que, puisqu'ils favorisent le développement de l'aire vasculaire et de la membrane chorio-allantoïdienne, il peut être intéressant de travailler à des niveaux relativement élevés de CO<sub>2</sub> en première partie d'incubation.

### ÉCLOSION

Inversement, des niveaux élevés de CO<sub>2</sub> en fin d'incubation peuvent pénaliser le développement de certains organes. Wineland M.J. *et al* (2001) montrent que des pressions d'oxygène insuffisantes entraînent des poids de cœur plus faibles, sans pour autant affecter le taux de glycogène cardiaque.

Cependant, il est démontré que l'hypoxie (y compris l'incubation en altitude) ou l'hypercapnie raccourcissent les temps d'incubation et favorisent des fenêtres d'éclosion plus étroites (Decuyper E. *et al*, 2006).

Les embryons soumis à des pressions d'oxygène faibles en éclosion semblent être moins enclins à développer une hypertrophie du ventricule droit et à être ainsi plus sensibles à des problèmes d'ascites (Decuyper E. *et al*, 2006).

Molenaar R. *et al* (2010) mentionnent que la pression d'oxygène dans la chambre à air n'atteint que 14,2% peu avant l'éclosion. Inversement, celle du CO<sub>2</sub> atteint environ 5,6%. Ce sont ces pressions qui déclenchent le bêchage et des concentrations plus élevées de CO<sub>2</sub> dans l'environnement peuvent forcer certains poussins à éclore alors même qu'ils ne sont pas encore prêts.

#### ➔ **Recommandations.**

Les conséquences de niveaux différents de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère de l'éclosoir ne sont pas encore complètement élucidées. Mais il semble bien que leur effet dépend beaucoup du potentiel de croissance de la souche.

Alors qu'ils semblent avoir un effet bénéfique sur une éventuelle résistance du cœur à des conditions d'hypoxie, ils peuvent forcer des poussins qui ne seraient pas encore prêts à éclore, réduisant ainsi leur qualité générale.

Jour	Taux de CO <sub>2</sub> dans l'éclosoir	Ouverture des trappes de ventilation
19	0,2-0,4%	30-50%
20	0,4-0,6%	30-50%
21	0,2-0,4%	50-70%

### ➔ LA FENÊTRE D'ÉCLOSION

C'est la période qui s'écoule entre l'éclosion du premier et du dernier poussin. Elle donne un bon aperçu de l'homogénéité des conditions d'incubation, y compris du préchauffage, pour une éclosion donnée.

Elle ne pourra être un outil de décision que si l'homogénéité des œufs, dans le sens où on l'a vu dans les chapitres précédents, est la plus élevée possible. De même, son évaluation ne sera intéressante que si la période de stockage des œufs est similaire.

Il va de soi que les fenêtres d'éclosion étroites sont préférées. Elles évitent que des poussins éclos trop tôt ne se déshydratent, ou que d'autres éclos trop tard, ne soient pas encore bien finis lors de leur sortie de l'éclosoir.

Les objectifs à atteindre sont les suivants :

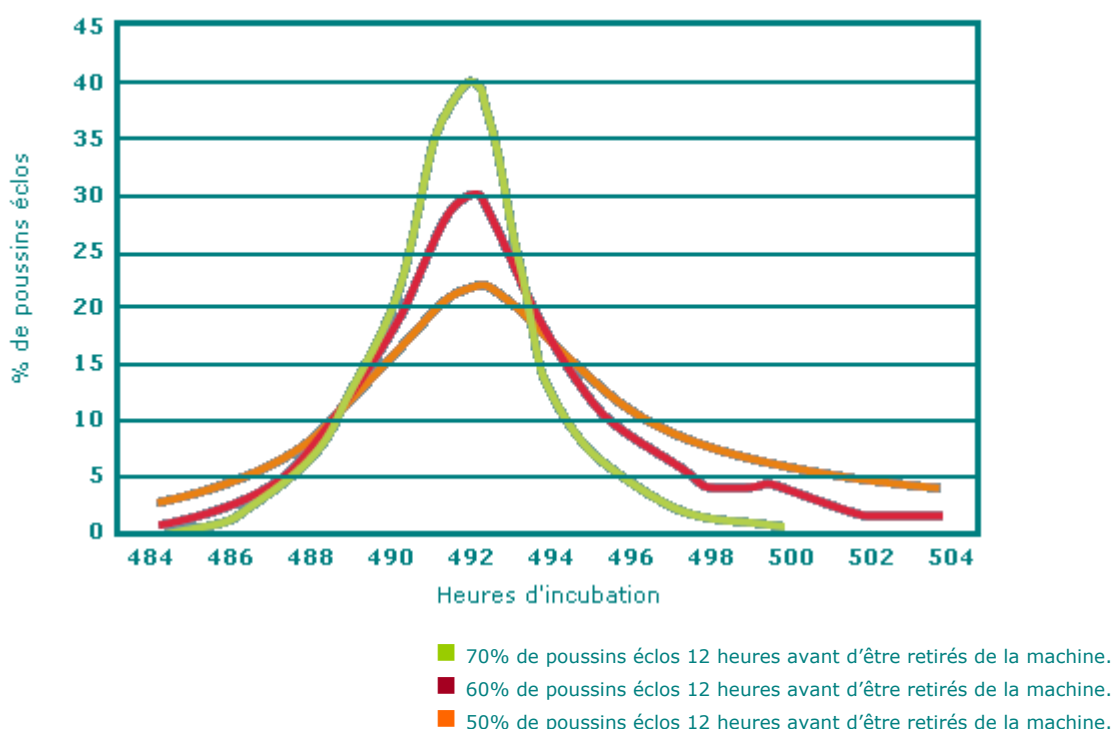
Fenêtre d'éclosion	Temps
Très bonne	< 24 heures
Bonne	24-30 heures
Moyenne	30-36 heures
Mauvaise	> 36 heures

### ÉCLOSION

Mais il ne suffit pas d'avoir une fenêtre d'éclosion la plus étroite possible. Il faut, en outre, que le moment réel de l'éclosion corresponde à la durée totale d'incubation qui a été prévue. Inutile en effet d'avoir des fenêtres d'éclosion étroites avec des éclosions qui ont réellement lieu 15 ou 20 heures avant l'heure prévue.

Le graphique ci-dessous montre l'évolution de la fenêtre d'éclosion en fonction du pourcentage de poussins éclos :

**Évolution type des fenêtres d'éclosion en fonction du pourcentage de poussins éclos 12 heures avant d'être retirés de la machine**



Adapté de Thornton G. (2011)

Un objectif réaliste est d'atteindre 60% des poussins éclos 12 heures avant qu'ils soient retirés de l'éclosoir. Dans le même sens, French N.A. (2010) mentionne que 30 heures avant que les poussins soient retirés de la machine, pas plus de 2% ne doivent avoir éclos.

### ➔ LA DURÉE TOTALE D'INCUBATION

On a vu que le développement embryonnaire dépendait quasi exclusivement de la température et que l'homogénéité de cette dernière influait grandement sur celle de l'éclosion. Cependant, un autre facteur vient s'ajouter : le potentiel de croissance de la souche.

Les souches à croissance rapide produisent davantage de chaleur métabolique. Non seulement elles ont tendance à éclore plus tôt mais elles sont, en outre, plus sensibles à des températures élevées.

Inversement, les souches à croissance lente produisent moins de chaleur métabolique, ont tendance à éclore plus tard et sont moins sensibles à des températures élevées.

En théorie, tout en les incubant dans des machines différentes, il est donc possible de faire éclore ces deux types de souche au même moment. Ceci explique d'ailleurs le fait que des temps d'incubation longs soient de plus en plus recherchés.

### ÉCLOSION

Cependant, il n'est pas toujours facile de trouver le bon compromis et on se limitera ici à donner les temps d'incubation lorsque les températures perçues par l'embryon correspondent à celles décrites plus haut :

Potentiel de croissance de la souche	Temps total d'incubation
Rapide	500-508 heures
Lent	504-512 heures

### ➔ DÉSINFECTION AU COURS DE L'ÉCLOSION

Malgré tous les efforts qui auraient pu être réalisés au niveau de la qualité sanitaire des œufs, les risques de contamination restent présents. Ils sont particulièrement importants au moment de l'éclosion.

Malheureusement, on n'a pas encore trouvé de réelle alternative au formol (ou aux produits à base de formol) et on ne peut donc recommander son utilisation qu'avec toutes les précautions qui s'imposent :

- ◆ Utiliser des assiettes creuses d'un diamètre de 30-40 cm.
- ◆ En placer une dans chaque éclosoir, juste derrière la porte ou, à défaut de place, sous un des chariots d'éclosion.
- ◆ Y verser 500-600 ml d'une solution de formol à 18-20% (250-300 ml de formol à 36-40% et 250-300 ml d'eau).
- ◆ Laisser évaporer.

Pour une efficacité maximale, le formol sera placé lorsque 5 à 10% des poussins auront éclos (vers le milieu-fin du 20<sup>ème</sup> jour d'incubation).

Une seule application est nécessaire : celles qui pourraient être employées plus précocement auront peu d'effets sur la dissémination des contaminants. Celles qui pourraient se répéter au cours de l'éclosion peuvent entraîner des risques de surdosage.

Les excès de formol sont facilement identifiables : les poussins acquièrent une coloration jaune foncée et, dans des cas extrêmes, peuvent dès l'éclosion, présenter des difficultés respiratoires.

En effet, le formol irrite les voies aériennes et un surdosage peut entraîner des lésions de la trachée pouvant mettre en danger la viabilité ou la croissance des poussins.

Pour tout autre produit, veiller à bien suivre les recommandations du fabricant et s'assurer qu'il peut effectivement être employé en présence d'embryons <sup>et</sup>/ou de poussins.

### ➔ PARAMÈTRES D'AMBIANCE DES SALLES D'ÉCLOSION

Les paramètres d'ambiance des salles d'éclosion sont surtout importants lorsque les éclosoirs prélèvent l'air nécessaire à leur fonctionnement à partir de celles-ci. Les conditions à respecter seront :

Température	Humidité	Volumes d'air
25-26°C	55-60%	3,0-3,5 m <sup>3</sup> /heure/100 œufs

Lorsque l'air est introduit directement dans les machines, ou lorsqu'il est prélevé depuis le faux plafond, il devra respecter les conditions préconisées par le fabricant.

### QUALITÉ DU POUSSIN

Evaluer le processus d'incubation uniquement par les taux d'éclosion revient à sous-estimer l'importance du couvoir dans la chaîne complète de production. Les conditions d'incubation affectent non seulement les résultats d'éclosion mais également la qualité des poussins. L'impact économique de cette dernière est bien plus important qu'un simple manque ou excès de poussins.

Meijerhof R. (2009b) mentionne que la température joue un rôle essentiel sur le niveau d'utilisation des réserves nutritionnelles du jaune et sur la fermeture de l'ombilic. Il fait également état de plusieurs recherches à ce sujet : des écarts de 2°F au niveau de la température des embryons provoqueraient des différences significatives en termes de croissance et d'indice de consommation sur des poulets de 6 semaines d'âge. Ces mêmes écarts provoqueraient des différences de développement du poussin lui-même et de certains de ses organes.

Hulet R. (2001) a montré qu'en adaptant les consignes de température de la machine en fonction de la production réelle de chaleur métabolique il était possible d'améliorer les taux d'éclosion d'environ 2% par rapport à des programmes standard.

Puisque les gros œufs ont plus de mal à évacuer la chaleur produite, on constate souvent une détérioration de la qualité des poussins et une augmentation du jaune résiduel au fur et à mesure que le troupeau vieillit. En ce sens, Lourens S. *et al* (2006) ont montré que lorsque la température de coquille était maintenue constante, les embryons issus de petits ou gros œufs étaient aussi efficaces les uns que les autres à transférer les nutriments du jaune vers leurs corps.

Deux grandes méthodes existent au jour d'aujourd'hui pour évaluer la qualité du poussin :

- ◆ La mesure de la longueur du poussin.
- ◆ Le Pasgar<sup>®</sup> Score, version simplifiée du Tona Score développé par l'Université de Louvain (Belgique) dans les années 90.

### ➔ LA LONGUEUR DU POUSSIN

Le développement embryonnaire étant régi par la température, toute altération des conditions environnementales modifiera la croissance de l'embryon. On a vu que des températures élevées accélèrent le développement, entraînaient des conditions d'hypoxie et altèrent l'utilisation des graisses comme source principale d'énergie. L'embryon bascule ainsi plus rapidement et plus intensément vers un métabolisme carbohydraté, voire même dans certains cas, vers un métabolisme protéique.

Il paraît donc logique que des températures élevées puissent être responsables de la croissance de l'embryon lui-même, de certains de ses organes (le cœur en particulier) et de la quantité de jaune résiduel. Ceci fut d'abord démontré par Romanoff A.L. (1960) cité par Leksrisonpong N. *et al* (2007), puis confirmé par toute une série de chercheurs.



Jaune résiduel, taille et aspect du cœur sur deux poussins ayant perçu des températures différentes au cours de l'incubation :

- ◆ Gauche, température élevée.
- ◆ Droite, température normale.

### QUALITÉ DU POUSSIN

Dans une étude à grande échelle, Hill D. (2001) a observé, entre autres, que la longueur du poussin, mesurée ici de la tête à la croupe, augmentait avec l'âge du troupeau, semblait plus importante en chargement unique et variait en fonction de la position de l'œuf dans la machine. Elle a par ailleurs démontré que les poussins issus de vieux troupeaux étaient souvent moins longs que ceux issus de troupeaux d'âge moyen, que les mortalités en élevage étaient plus importantes lorsque les poussins provenaient de couvoirs produisant souvent des poussins plus courts, et a conclu que la longueur du poussin était un bon outil de prédiction des performances futures.

Mais, alors qu'elle a trouvé que la mesure de la longueur du poussin, toujours de la tête à la croupe, était un indicateur plus sensible de la qualité des poussins, elle a également trouvé que les mesures étaient peu répétables. Elle en a donc proposé un autre, plus objectif, celui de la longueur du poussin de la pointe du bec au doigt du milieu :

#### ➔ Méthodologie.

- ◆ Prélever au hasard une vingtaine de poussins pour chacune des origines.
- ◆ Mesurer leur longueur, de la pointe du bec au doigt du milieu (ongle exclu).
- ◆ Calculer la moyenne et l'homogénéité.
- ◆ Mettre les résultats en rapport avec l'âge des lots donneurs, le poids des œufs et les conditions d'incubation.



Chez les poussins issus de jeunes troupeaux, la longueur variera le plus souvent entre 18,5 et 19,5 cm. Entre 19,0 et 20,0 cm pour les poussins issus de troupeaux d'âge moyen et entre 19,5 et 20,5 cm chez ceux issus de vieux troupeaux. Il est important de noter que la croissance du poussin continue après l'éclosion et que, pour pouvoir comparer les informations, il est nécessaire d'effectuer les mesures toujours au même moment.

### ➔ LE PASGAR<sup>©</sup> SCORE

Il s'agit là d'une méthode plus qualitative que quantitative, qui vise à évaluer les conditions d'incubation mais semble peu prédire les performances futures (Meijerhof R. 2009b).

#### ➔ Méthodologie.

- ◆ Prélever au hasard une cinquantaine de poussins pour chacune des origines.
- ◆ Évaluer les paramètres suivants :



#### Vitalité du poussin :

- ◆ Couché sur le dos, il se redresse immédiatement (score = 0).
- ◆ Il met plus de 3 secondes à se redresser (score = 1).



### QUALITÉ DU POUSSIN



#### Ombilic :

- ◆ L'ombilic du poussin est normal lorsqu'il est complètement fermé et tout le vitellus est absorbé (score = 0).
- ◆ Si l'ombilic est ouvert <sup>et</sup>/<sub>ou</sub> qu'on observe des croûtes noires (score = 1).



#### Articulations :

- ◆ Les articulations ne sont pas enflées et ont une couleur normale (score = 0).
- ◆ Les articulations sont gonflées <sup>et</sup>/<sub>ou</sub> rouges (score = 1).



#### Bec :

- ◆ Le bec est propre et les narines sont fermées (score = 0).
- ◆ Le bec est souillé <sup>et</sup>/<sub>ou</sub> présente un point rouge (score = 1).



#### Abdomen :

Le volume de l'abdomen dépend de celui du vitellus et est essentiellement lié à la température et humidité d'incubation.

- ◆ Abdomen souple (score = 0).
- ◆ Abdomen dur, peau tendue (score = 1).

### QUALITÉ DU POUSSIN

- ◆ Noter les scores pour chacun des paramètres et chaque poussin.
- ◆ Pour chaque individu, additionner les différents scores et les déduire de la note maximale de 10.
- ◆ Calculer la moyenne.

Des conditions optimales d'incubation doivent pouvoir permettre d'atteindre un score moyen de 9 au minimum (Pas Reform, 2006).

## ANALYSE DES CAUSES DE MORTALITÉ EMBRYONNAIRE

De nombreuses publications existent à ce sujet. Les observations et causes possibles ci-dessous détaillées sont essentiellement basées sur les recherches de Wilson H.R. (2004) :

➔ **Problèmes d'ordre général.**

Observations	Causes possibles
<input type="checkbox"/> Œufs clairs au mirage :  Pas de signes de développement embryonnaire, œufs infertiles	<input type="checkbox"/> Coqs immatures <input type="checkbox"/> Ratio poules/coq inadéquat (trop ou pas assez de coqs) <input type="checkbox"/> Conditions climatiques extrêmes <input type="checkbox"/> Troupeau trop âgé <input type="checkbox"/> Problème sanitaire <input type="checkbox"/> Coqs ou poules trop lourdes <input type="checkbox"/> Excès ou carences nutritionnelles, rationnement trop sévère <input type="checkbox"/> Problèmes de pattes, en particulier chez les coqs <input type="checkbox"/> Certaines drogues, pesticides, toxines ou mycotoxines <input type="checkbox"/> Parasitoses <input type="checkbox"/> Densité inadéquate <input type="checkbox"/> Programme lumineux (intensité ou durée) inadapté <input type="checkbox"/> Management inadéquat
<input type="checkbox"/> Œufs clairs au mirage :  Signes de développement embryonnaire (disque germinatif élargi), œufs fertiles	<input type="checkbox"/> Période de stockage trop longue <input type="checkbox"/> Conditions de stockage inadaptées (températures trop élevées ou trop faibles, températures fluctuantes) <input type="checkbox"/> Fumigation inadéquate (surdosage ou fumigation pendant la période 12-96 heures d'incubation). Application incorrecte du désinfectant sur les œufs <input type="checkbox"/> Choc thermique <input type="checkbox"/> Pores obstrués <input type="checkbox"/> Température élevée en début d'incubation <input type="checkbox"/> Troupeaux trop jeunes ou trop âgés <input type="checkbox"/> Problème sanitaire <input type="checkbox"/> Température de lavage des œufs trop élevée <input type="checkbox"/> Drogues, toxines, pesticides <input type="checkbox"/> Fréquence de ramassage des œufs insuffisante ou incomplète
<input type="checkbox"/> Œufs clairs au mirage :  Présence d'anneau sanguin ou d'un embryon mort avant 3 jours d'incubation, pas d'œil noir visible	<input type="checkbox"/> Œufs stockés trop longtemps ou à des températures inadaptées <input type="checkbox"/> Fumigation inadéquate (surdosage ou fumigation pendant la période 12-96 heures d'incubation) <input type="checkbox"/> Température élevée en début d'incubation <input type="checkbox"/> Température insuffisante en début d'incubation <input type="checkbox"/> Problème sanitaire <input type="checkbox"/> Troupeaux trop âgés <input type="checkbox"/> Carences nutritionnelles sévères (biotine, vitamine A, cuivre, vitamine E, bore, acide pantothénique) <input type="checkbox"/> Drogues, toxines, pesticides <input type="checkbox"/> Contaminations <input type="checkbox"/> Embryons peu développés à l'oviposition
<input type="checkbox"/> Embryons morts :  3 à 6 jours d'incubation, présence du système circulatoire, embryon couché sur le côté gauche, absence de diamant	<input type="checkbox"/> Voir causes précédentes <input type="checkbox"/> Ventilation insuffisante ou pores obstrués <input type="checkbox"/> Fréquence de retournement inadéquate <input type="checkbox"/> Angle de retournement inadéquat <input type="checkbox"/> Carences vitaminiques : vitamine E, riboflavine, biotine, <u>acide pantothénique ou acide linoléique</u>
<input type="checkbox"/> Embryons morts :  7 à 17 jours d'incubation, présence de diamant et d'ongles, de follicules plumeux (8 jours) ou de plumes (11 jours)	<input type="checkbox"/> Température, humidité, retournement ou ventilation inadéquates au cours de l'incubation <input type="checkbox"/> Contaminations <input type="checkbox"/> Carences nutritionnelles : riboflavine, vitamine B <sub>12</sub> , biotine, niacine, pyridoxine, acide pantothénique, phosphore, bore ou acide linoléique

## ANALYSE DES CAUSES DE MORTALITÉ EMBRYONNAIRE

Observations	Causes possibles
<input type="checkbox"/> Embryons morts : >18 jours d'incubation	<input type="checkbox"/> Température, humidité, retournement ou ventilation inadéquates en incubateur <input type="checkbox"/> Température, humidité ou ventilation inadéquates en éclosoir <input type="checkbox"/> Contaminations <input type="checkbox"/> Fumigation excessive ou prolongée <input type="checkbox"/> Œufs refroidis pendant le transfert, ou transférés trop tard <input type="checkbox"/> Œufs cassés avant la MEI, au cours de l'incubation ou pendant le transfert <input type="checkbox"/> Carences nutritionnelles : vitamine D, vitamine A, acide folique, acide pantothénique, riboflavine, vitamine E, sélénium, vitamine K, biotine, thiamine, vitamine B <sub>12</sub> , calcium, phosphore, manganèse ou acide linoléique <input type="checkbox"/> Malposition de l'embryon <input type="checkbox"/> Éclosoir ouvert trop fréquemment pendant le bêcheage ou l'éclosion <input type="checkbox"/> Mauvaise qualité de coquille <input type="checkbox"/> Problème sanitaire


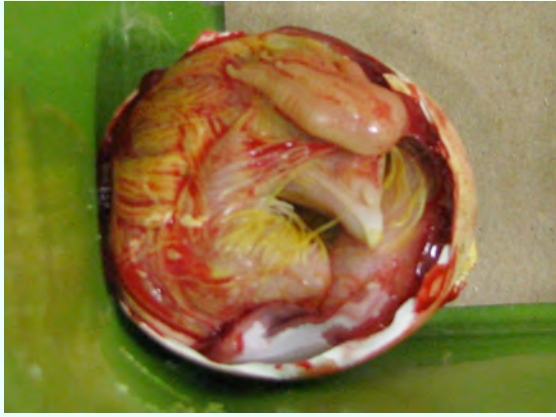
➔ **Problèmes spécifiques.**

Observations	Causes possibles
<input type="checkbox"/> Œufs non bêchés, embryons complètement formés, jaune résiduel excessif, une partie du jaune peut ne pas être complètement absorbé, présence éventuelle d'albumen	<input type="checkbox"/> Retournement inadéquat <input type="checkbox"/> Humidité trop élevée en incubation ou après le transfert <input type="checkbox"/> Température d'incubation insuffisante <input type="checkbox"/> Température d'éclosion trop élevée <input type="checkbox"/> Œufs refroidis pendant le transfert <input type="checkbox"/> Carences nutritionnelles <input type="checkbox"/> Problème sanitaire <input type="checkbox"/> Ventilation inadéquate <input type="checkbox"/> Stockage prolongé
<input type="checkbox"/> Œufs bêchés, embryons complètement formés, morts en coquille	<input type="checkbox"/> Humidité ou température insuffisante pendant des périodes prolongées <input type="checkbox"/> Humidité insuffisante en éclosoir <input type="checkbox"/> Température élevée en éclosoir <input type="checkbox"/> Carences nutritionnelles <input type="checkbox"/> Problème sanitaire <input type="checkbox"/> Ventilation insuffisante <input type="checkbox"/> Retournement inadéquat pendant les 12 premiers jours <input type="checkbox"/> Chocs pendant le transfert <input type="checkbox"/> Stockage prolongé
<input type="checkbox"/> Œufs partiellement bêchés, embryons morts ou vivants	<input type="checkbox"/> Fumigation excessive pendant l'éclosion <input type="checkbox"/> Œufs incubés avec la pointe vers le haut
<input type="checkbox"/> Éclosion précoce, poussins bruyants	<input type="checkbox"/> Petits œufs <input type="checkbox"/> Écarts entre souches <input type="checkbox"/> Température d'incubation trop élevée <input type="checkbox"/> Humidité d'incubation trop faible
<input type="checkbox"/> Éclosion tardive	<input type="checkbox"/> Gros œufs <input type="checkbox"/> Vieux troupeaux <input type="checkbox"/> Stockage prolongé <input type="checkbox"/> Température d'incubation insuffisante <input type="checkbox"/> Embryons faibles <input type="checkbox"/> Humidité d'incubation trop élevée
<input type="checkbox"/> Fenêtre d'éclosion trop large	<input type="checkbox"/> Mélange d'œufs de différentes périodes de stockage dans le même incubateur <input type="checkbox"/> Mélange d'œufs issus de jeunes et vieux troupeaux <input type="checkbox"/> Mélange de petits et de gros œufs <input type="checkbox"/> Manipulation incorrecte des œufs <input type="checkbox"/> Points chauds ou froids dans l'incubateur ou l'éclosoir <input type="checkbox"/> Température d'incubation ou d'éclosion trop élevée ou trop faible
<input type="checkbox"/> Éclosion hétérogène entre les différents paniers	<input type="checkbox"/> Mélange de gros et de petits œufs <input type="checkbox"/> Mélange d'œufs issus de jeunes et vieux troupeaux <input type="checkbox"/> Mélange d'œufs issus de différentes souches <input type="checkbox"/> Une partie des œufs stockés trop longtemps <input type="checkbox"/> Ventilation inadéquate en incubateur ou en éclosoir <input type="checkbox"/> Problème sanitaire dans un ou plusieurs troupeaux <input type="checkbox"/> Différentes conditions de stockage


## ANALYSE DES CAUSES DE MORTALITÉ EMBRYONNAIRE

Observations	Causes possibles
<input type="checkbox"/> Poussins visqueux, traces d'albumen sur le duvet	<input type="checkbox"/> Température d'incubation insuffisante <input type="checkbox"/> Humidité d'incubation élevée <input type="checkbox"/> Retournement inadéquat <input type="checkbox"/> Vieux œufs <input type="checkbox"/> Œufs trop gros
<input type="checkbox"/> Poussins collés à la coquille, poussins avec des restes de coquille collés au duvet	<input type="checkbox"/> Humidité trop faible pendant le stockage, l'incubation et/ou l'éclosion <input type="checkbox"/> Retournement inadéquat <input type="checkbox"/> Œufs cassés ou mauvaise qualité de coquille
<input type="checkbox"/> Éclosion précoce, ombilics hémorragiques	<input type="checkbox"/> Température d'incubation ou d'éclosion trop élevée
<input type="checkbox"/> Poussins petits	<input type="checkbox"/> Petits œufs <input type="checkbox"/> Humidité insuffisante pendant le stockage ou l'incubation <input type="checkbox"/> Température d'incubation élevée <input type="checkbox"/> Coquilles fragiles ou poreuses
<input type="checkbox"/> Ombilics non cicatrisés, duvet sec	<input type="checkbox"/> Température d'incubation élevée ou fortes variations de température <input type="checkbox"/> Température d'éclosion insuffisante <input type="checkbox"/> Humidité d'éclosion trop élevée ou trappes de ventilation laissées trop fermées une fois l'éclosion terminée <input type="checkbox"/> Nutrition inadéquate des troupeaux reproducteurs
<input type="checkbox"/> Ombilics non cicatrisés, humides, malodorants. Poussins gros, et léthargiques, abdomens mous	<input type="checkbox"/> Omphalites <input type="checkbox"/> Température insuffisante en incubateur <input type="checkbox"/> Humidité élevée en incubateur ou en éclosioir <input type="checkbox"/> Ventilation inadéquate
<input type="checkbox"/> Poussins faibles	<input type="checkbox"/> Température élevée en éclosioir <input type="checkbox"/> Ventilation insuffisante en éclosioir <input type="checkbox"/> Fumigation excessive <input type="checkbox"/> Contaminations
<input type="checkbox"/> Malpositions	<input type="checkbox"/> Œufs incubés avec la pointe vers le haut <input type="checkbox"/> Retournement inadéquat <input type="checkbox"/> Températures d'incubation élevées ou faibles <input type="checkbox"/> Humidité élevée <input type="checkbox"/> Vieux troupeaux <input type="checkbox"/> Œufs trop gros <input type="checkbox"/> Carences nutritionnelles, en particulier en vitamines A et B <sub>12</sub> <input type="checkbox"/> Mauvaises conditions de transport ou de stockage des œufs
<input type="checkbox"/> Malformations	<input type="checkbox"/> Conditions de stockage inadaptées <input type="checkbox"/> Mauvaises conditions de transport des œufs <input type="checkbox"/> Carences nutritionnelles (biotine, riboflavine, zinc ou manganèse) <input type="checkbox"/> Retournement inadéquat <input type="checkbox"/> Mauvaise orientation des œufs (œufs avec la pointe vers le haut) <input type="checkbox"/> Températures d'incubation élevées ou faibles <input type="checkbox"/> Problème sanitaire <input type="checkbox"/> Ventilation inadéquate ou coquilles peu poreuses
<input type="checkbox"/> Doigts crochus, pattes écartées	<input type="checkbox"/> Températures d'incubation élevées ou faibles <input type="checkbox"/> Problèmes nutritionnels <input type="checkbox"/> Surface glissante des paniers d'éclosion
<input type="checkbox"/> Duvet court, sec, rêche	<input type="checkbox"/> Carences nutritionnelles, en particulier en riboflavine <input type="checkbox"/> Mycotoxines ou autres facteurs inhibiteurs provoquant des carences nutritionnelles <input type="checkbox"/> Température élevée pendant les 14 premiers jours d'incubation
<input type="checkbox"/> Yeux fermés, duvet collé aux yeux	<input type="checkbox"/> Température élevée en éclosioir <input type="checkbox"/> Faible humidité en éclosioir <input type="checkbox"/> Mauvais fonctionnement des récupérateurs de duvet <input type="checkbox"/> Poussins laissés trop longtemps en éclosioir après leur éclosion <input type="checkbox"/> Mouvements d'air excessifs en éclosioir
<input type="checkbox"/> Embryons nains, croissance insuffisante des poussins	<input type="checkbox"/> Œufs contaminés <input type="checkbox"/> Contamination du couvoir, en particulier pendant l'éclosion <input type="checkbox"/> Problème sanitaire <input type="checkbox"/> Carences nutritionnelles <input type="checkbox"/> Anomalies thyroïdiennes

## ANALYSE DES CAUSES DE MORTALITÉ EMBRYONNAIRE

Observations	Causes possibles
<input type="checkbox"/> Éclatement des œufs	<input type="checkbox"/> Œufs sales, nids souillés <input type="checkbox"/> Œufs pondus au sol <input type="checkbox"/> Lavage inadéquat des œufs, œufs séchés ou nettoyés avec des chiffons contaminés <input type="checkbox"/> Poussières dans les bâtiments d'élevage, dans la salle de stockage ou le camion de transport <input type="checkbox"/> Condensation sur la surface des coquilles <input type="checkbox"/> Pulvérisation des œufs avec une solution contaminée <input type="checkbox"/> Œufs contaminés par d'autres œufs qui auraient éclaté auparavant <input type="checkbox"/> Manipulation des œufs avec les mains sales
<input type="checkbox"/> Manque un ou les deux yeux	<input type="checkbox"/> Température élevée pendant les 6 premiers jours d'incubation <input type="checkbox"/> Oxygénation insuffisante pendant les 6 premiers jours d'incubation
<input type="checkbox"/> Cerveau exposé	<input type="checkbox"/> Température élevée pendant les 3 premiers jours d'incubation <input type="checkbox"/> Oxygénation insuffisante pendant les 3 premiers jours d'incubation
<input type="checkbox"/> Viscères ectopiques 	<input type="checkbox"/> Température élevée en incubateur
<input type="checkbox"/> Hémorragies 	<input type="checkbox"/> Hémorragies sous-cutanées : températures élevées en incubateur ou en éclosoir <input type="checkbox"/> Hémorragies de la membrane chorion-allantoïdienne : manipulation inadéquate des œufs pendant le transfert <input type="checkbox"/> Carences nutritionnelles (vitamines K ou E) <input type="checkbox"/> Embryons morts entre le 11 <sup>ème</sup> et le 15 <sup>ème</sup> jour d'incubation et qui présentent une coloration rouge foncée : contaminations fongiques ou bactériennes
<input type="checkbox"/> Rougeur des articulations sur des poussins éclos ou des bêchés non-éclos	<input type="checkbox"/> Éclosion laborieuse <input type="checkbox"/> Carences vitaminiques <input type="checkbox"/> Coquilles dures <input type="checkbox"/> Humidité d'incubation élevée <sup>et</sup> /ou température élevée en éclosoir
<input type="checkbox"/> Taille insuffisante de la chambre à air, large zone de bêchage, membranes intactes, rougeur des articulations, poussins œdémateux, albumen résiduel, vitellus non résorbé, pertes en eau inférieures à 10%	<input type="checkbox"/> Humidité élevée en incubateur <input type="checkbox"/> Coquilles dures <input type="checkbox"/> Température insuffisante en incubateur

## ANALYSE DES CAUSES DE MORTALITÉ EMBRYONNAIRE

Observations	Causes possibles
<input type="checkbox"/> Micromélie (raccourcissement des os longs, bec de perroquet, os courbés), chondrodystrophie <input type="checkbox"/> Bec court, bec absent, anomalies de la face	<input type="checkbox"/> Carences nutritionnelles (biotine ou manganèse)
<input type="checkbox"/> Tête et nuque enflées (diathèse exsudative)	<input type="checkbox"/> Température élevée pendant les 5 premiers jours d'incubation <input type="checkbox"/> Carences nutritionnelles (niacine) <input type="checkbox"/> Carences nutritionnelles, vitamine E ou sélénium
	

➔ **Carences nutritionnelles et toxicités.**

Nutriment	Effets d'une carence <sup>et/ou</sup> un excès
<input type="checkbox"/> Vitamine A	<input type="checkbox"/> Développement anormal du système veineux <input type="checkbox"/> Anomalies du squelette (en particulier du crâne et de la colonne vertébrale) <input type="checkbox"/> Changements dégénératifs du cerveau, de la moelle épinière et des nerfs <input type="checkbox"/> Mortalité embryonnaire précoce (pendant les 2-3 premiers jours d'incubation) <input type="checkbox"/> Les poussins qui éclosent peuvent présenter un écoulement oculaire ou avoir les paupières collées <input type="checkbox"/> Un excès de vitamine A peut également provoquer des anomalies du squelette
<input type="checkbox"/> Vitamine D <sub>3</sub>	<input type="checkbox"/> Mortalité embryonnaire tardive (au-delà du 17 <sup>ème</sup> jour) <input type="checkbox"/> Problèmes de croissance en élevage <input type="checkbox"/> Développement insuffisant du squelette
<input type="checkbox"/> Vitamine E	<input type="checkbox"/> Problèmes du système circulatoire <input type="checkbox"/> Diathèse exsudative <input type="checkbox"/> Hémorragies <input type="checkbox"/> Encéphalomalacie <input type="checkbox"/> Anomalies oculaires <input type="checkbox"/> Œdème du cou et des pattes <input type="checkbox"/> Mortalité embryonnaire entre les jours 2 à 5 d'incubation <input type="checkbox"/> Fragilité musculaire après l'éclosion
<input type="checkbox"/> Vitamine K	<input type="checkbox"/> Hémorragies de l'embryon et des membranes en particulier peu avant ou au cours de l'éclosion
<input type="checkbox"/> Thiamine	<input type="checkbox"/> Polynévrites <input type="checkbox"/> Mortalité embryonnaire précoce et tardive (au-delà du 19 <sup>ème</sup> jour) <input type="checkbox"/> Nombreux poussins morts dans les paniers d'éclosion
<input type="checkbox"/> Riboflavine	<input type="checkbox"/> Pattes courtes <input type="checkbox"/> Désorganisation du système circulatoire <input type="checkbox"/> Œdèmes <input type="checkbox"/> Doigts tordus <input type="checkbox"/> Micromélie <input type="checkbox"/> Anémie <input type="checkbox"/> Foie marron ou vert foncé <input type="checkbox"/> Mortalité embryonnaire entre les jours 3 à 5, 10 à 15 et 21 d'incubation

## ANALYSE DES CAUSES DE MORTALITÉ EMBRYONNAIRE

Nutriment	Effets d'une carence <sup>et/ou</sup> un excès
<input type="checkbox"/> Niacine	<input type="checkbox"/> Hypoplasie des muscles <input type="checkbox"/> Œdèmes <input type="checkbox"/> Mandibule supérieure courte <input type="checkbox"/> Anomalies du système veineux et nerveux <input type="checkbox"/> Mortalité embryonnaire au cours des jours 8 à 14 d'incubation
<input type="checkbox"/> Vitamine B <sub>6</sub> (Pyridoxine)	<input type="checkbox"/> Inhibition de la croissance <input type="checkbox"/> Mortalité embryonnaire au cours des jours 8 à 14 d'incubation
<input type="checkbox"/> Acide Pantothénique	<input type="checkbox"/> Hémorragies sous-cutanées <input type="checkbox"/> Œdèmes <input type="checkbox"/> Hydrocéphale <input type="checkbox"/> Emplumement insuffisant <input type="checkbox"/> Pattes tordues <input type="checkbox"/> Mortalité embryonnaire au cours des jours 2 à 4 et 11 à 15 d'incubation
<input type="checkbox"/> Biotine	<input type="checkbox"/> Chondrodystrophie <input type="checkbox"/> Micromélie <input type="checkbox"/> Syndactylies <input type="checkbox"/> Hémorragies de l'embryon et des membranes <input type="checkbox"/> Mortalité embryonnaire au cours des jours 3 à 4 et au-delà du 17 <sup>ème</sup> jour d'incubation
<input type="checkbox"/> Acide Folique	<input type="checkbox"/> Syndactylies <input type="checkbox"/> Os tordus <input type="checkbox"/> Tête plate, yeux petits, viscères ectopiques <input type="checkbox"/> Bec de perroquet, autres défauts du bec <input type="checkbox"/> Mortalité embryonnaire au-delà du 17 <sup>ème</sup> jour d'incubation
<input type="checkbox"/> Vitamine B <sub>12</sub>	<input type="checkbox"/> Œdèmes (en particulier autour des yeux) <input type="checkbox"/> Hémorragies <input type="checkbox"/> Doigts tordus <input type="checkbox"/> Bec court <input type="checkbox"/> Faible développement musculaire au niveau des pattes <input type="checkbox"/> Malpositions (tête entre les pattes) <input type="checkbox"/> Mortalité embryonnaire au cours des jours 8 à 14 et 16 à 18 d'incubation
<input type="checkbox"/> Manganèse	<input type="checkbox"/> Chondrodystrophie <input type="checkbox"/> Squelette déformé <input type="checkbox"/> Raccourcissement des os longs <input type="checkbox"/> Bec de perroquet <input type="checkbox"/> Micromélie <input type="checkbox"/> Œdèmes <input type="checkbox"/> Mortalité embryonnaire au-delà du 18 <sup>ème</sup> jour d'incubation <input type="checkbox"/> Incoordination des poussins
<input type="checkbox"/> Zinc	<input type="checkbox"/> Anomalies du squelette (en particulier au niveau de la colonne vertébrale) <input type="checkbox"/> Yeux petits <input type="checkbox"/> Viscères ectopiques <input type="checkbox"/> Anomalies du bec et de la tête <input type="checkbox"/> Poussins fragiles
<input type="checkbox"/> Calcium	<input type="checkbox"/> Effets indirects : qualité de coquille insuffisante, pertes de poids plus importantes, risques de contaminations accrues <input type="checkbox"/> Croissance insuffisante
<input type="checkbox"/> Magnésium	<input type="checkbox"/> Tremblements, convulsions <input type="checkbox"/> Halètements
<input type="checkbox"/> Phosphore	<input type="checkbox"/> Malformations osseuses <input type="checkbox"/> Mortalité embryonnaire au cours des jours 14 à 16 d'incubation
<input type="checkbox"/> Cuivre	<input type="checkbox"/> Anomalies du sang et du système circulatoire <input type="checkbox"/> Pic de mortalité précoce (avant le 3 <sup>ème</sup> jour d'incubation)
<input type="checkbox"/> Sélénium	<input type="checkbox"/> Diathèse exsudative <input type="checkbox"/> Les excès de sélénium vont provoquer des œdèmes de la tête et du cou, des pattes tordues, des nécroses dans le cerveau et la moelle, une mandibule supérieure raccourcie et une augmentation de l'incidence de malpositions



## ➔ RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- Baggott G.K. (2001). Development of extra-embryonic membranes and fluid compartments. In: Deeming D.C. (ed.). Perspectives in Fertilisation and Embryonic Development in Poultry. Lincolnshire, UK: Ratite Conference Books, 23-29.
- Boerjan M. (2005). Genetic progress inspires changes in incubator technology. Pas Reform Hatchery Technologies. Bovendorpsstraat 11, 7038 CH, P.O. Box 2, 7038 ZG Zeddum, The Netherlands.
- Brake J., Walsh T., Benton C., Petite J., Meijerhof R. et Peñalva G. (1997). Egg handling and storage. Poultry Science, 76, 144-151.
- Christensen V.L., Wineland M.J. et Fairchild B.D. (2001). Changes in cardiac energy metabolism during the plateau stage in oxygen consumption of the turkey embryo. Avian and Poultry Biology Reviews, 12, 4: 169-202.
- Cutchin H.R., Wineland M.J., Christensen V.L., Davis S. et Mann K.M. (2009). Embryonic development when eggs are turned different angles during incubation. Journal of Applied Poultry Research, 18, 447-451.
- Dane A.C, Burggren W.W. et Altimiras J. (2003). Cardiovascular regulation during hypoxia in embryos of the domestic chicken *Gallus gallus*. American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology, 284, R219-R226.
- Decuypere E. et Michels H. (1992). Incubation temperature as a management tool: a review. World's Poultry Science Journal, 48, 28-38.
- Decuypere E., Tona K., Bruggeman V. et Bamelis F. (2001). The day-old chick: a crucial hinge between breeders and broilers. World's Poultry Science Journal, 57, 127-138.
- Decuypere E., Onagbesan O., De Smit L., Tona K., Everaert N., Witters A., Debonne M., Verhoelst E., Buyse J., Hassanzadeh M., De Baerdemaeker J., Arckens L. et Bruggema, V. (2006). Hypoxia and hypercapnia during incubation of chicken eggs: effects on development and subsequent performance. World's Poultry Science Journal (Suppl), 486-490.
- Deeming D. (2000). Storage of hatching eggs. Poultry International, 39, 13:44-50.
- De Lange G. (2009). Storage of hatching eggs. International Hatchery Practice, 23, 4:29.
- Dorn D.J. (2010). The effect of non-ventilated or hypercapnic incubation on embryonic development and embryonic heart development of two broiler-lines (Ross 308 and Isa JA 757). Freie Universität Berlin, Berlin, Germany. Thesis, 187 pp.
- Elibol O., Peak S.D. et Brake J. (2002). Effect of flock age, length of egg storage, and frequency of turning during storage on hatchability of broiler hatching eggs. Poultry Science, 81, 945-950.
- Elibol O. et Brake J. (2003). Effect of frequency of turning from three to eleven days of incubation on hatchability of broiler hatching eggs. Poultry Science, 82, 357-359.
- Elibol O. et Brake J. (2006a). Effect of egg turning angle and frequency during incubation on hatchability and incidence of unhatched broiler embryos with head in the small end of the egg. Poultry Science, 85, 1433-1437.
- Elibol O. et Brake J. (2006b). Effect of flock age, cessation of egg turning, and turning frequency through the second week of incubation on hatchability of broiler hatching eggs. Poultry Science, 85, 1498-1501.
- Eyal-Giladi H. et Kochav S. (1976). From cleavage to primitive streak formation: A complementary normal table and a new look at the first stages of the development of the chick. I. General morphology. Developmental Biology, 49, 321-337.

## ➔ RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- Fasenko G.M., Robinson F.E., Whelan A.I., Kremeniuk K.M. et Walker J.A. (2003a). Effects of pre-storage incubation on the hatchability of long-term stored broiler breeder eggs. *New developments in reproduction and incubation of broiler chickens. Volume 2 : Broiler breeder production series. Spotted Cow Press.*
- Fasenko G.M., Robinson F.E., Ford E.M., Gruber L.M. et Lehmann H.R. (2003b). Does incubation between egg storage at the farm and the hatchery improve hatchability of eggs stored for 14 days? *New developments in reproduction and incubation of broiler chickens. Volume 2 : Broiler breeder production series. Spotted Cow Press.*
- Fasenko G.M. (2007). Egg storage and the embryo. *Poultry Science*, 86, 1020-1024.
- French N.A. (1997). Modeling incubation temperature: The effects of incubator design, embryonic development and egg size. *Poultry Science*, 76, 124-133.
- French N.A. (2010). Tips for successful hatchery management. *Poultry International*, August, 30-33.
- Hill D. (2001). Chick quality uniformity profiles as a field measurement of chick quality? *Avian and Poultry Biology Reviews*, 12, 4: 169-202.
- Hulet R. (2001). Chick quality, the result of maximising embryonic metabolism. *Avian and Poultry Biology Reviews*, 12, 4: 169-202.
- Hulet R., Gladys G., Hill D., Meijerhof R. et El-Shiekh T. (2007). Influence of egg shell embryonic incubation temperature and broiler breeder flock age on posthatch growth performance and carcass characteristics. *Poultry Science*, 86, 408-412.
- Jin Y., Lee K.T., Lee W.I. et Han Y.K. (2011). Effects of storage temperature and time on the quality of eggs from laying hens at peak production. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, 24, 2:279-284.
- Khaner O. (1993). Axis determination in the avian embryo. *Current Topics in Developmental Biology*, 28, 155-180.
- Leksrisompong N., Romero-Sanchez H., Plumstead P.W., Brannan K.E. et Brake J. (2007). Broiler incubation. 1. Effect of elevated temperature during late incubation on body weight and organs of chicks. *Poultry Science*, 86, 2685-2691.
- Lapão C., Gama L.T. et Chaveiro Soares M. (1999). Effects of broiler breeder age and length of egg storage on albumen characteristics and hatchability. *Poultry Science*, 78, 640-645.
- Lourens A., Van den Brand H., Meijerhof R. et Kemp B. (2005). Effect of eggshell temperature during incubation on embryo development, hatchability and post-hatch development. *Poultry Science*, 84, 914-920.
- Lourens A., Molenaar R., Van den Brand H., Heetkamp M.J.W., Meijerhof R. et Kemp B. (2006). Effect of egg size on heat production and the transition of energy from egg to hatchling. *Poultry Science*, 85, 770-776.
- Mahmud A. et Pasha T.N. (2008). Effect of storage, pre-heating and turning during holding period on the hatchability of broiler breeder eggs. *Pakistan Veterinary Journal*, 28, 3:153-154.
- Medway W. et Kare M.R. (1957). Water metabolism of the domestic fowl. From hatching to maturity. *American Journal of Physiology*, 190, 139-141.
- Meijerhof R. (1992). Pre-incubation holding of hatching eggs. *World's Poultry Science Journal*, 48, 57-68.
- Meijerhof R. (2009a). Principles of moisture loss during incubation. *HatchTech Incubation Technology. Technical Information.*

## ➔ RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- Meijerhof R. (2009b). The influence of incubation on chick quality and broiler performance. Australian Poultry Science Symposium, 20, 167-170.
- Molenaar R. (2010). Perinatal development and nutrient utilization in chickens. Effects of incubation conditions. Thesis. Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
- Molenaar R., Reijrink I., Meijerhof R. et Van den Brand H. (2010). Meeting embryonic requirements of broilers throughout incubation: A Review. Brazilian Journal of Poultry Science, 12, 3: 137-148.
- Pas Reform (2006). Guide d'incubation. Œufs de poule (poulets de chair). Pas Reform Incubation Technologies, 50 pp.
- Proudfoot F. (1966). Hatchability of stored chicken eggs as affected by daily turning during storage and pre-warming and vacuuming eggs enclosed in plastic with nitrogen. Canadian Journal of Animal Science, 46, 47-50.
- Rahn H. et Ar A. (1974). The avian egg: incubation time and water loss. The Condor, 76, 147-152.
- Reijrink I., Meijerhof R., Kemp B. et Van den Brand H. (2008). The chicken embryo and its micro-environment during egg storage and early incubation. World's Poultry Science Journal, 64, 581-598.
- Reijrink I. (2009). How to survive prolonged egg storage? HatchTech Incubation Technology. Technical Information.
- Reijrink I., Van Duijvendijk L.A., Meijerhof R., Kemp B. et Van den Brand H. (2010a). Gas concentrations during storage do not affect hatchability and chick quality. Poultry Science, 89, 1992-2000.
- Reijrink I., Berghmans D., Meijerhof R., Kemp B. et van den Brand H. (2010b). Influence of egg storage duration and preincubation warming profile on embryonic development, hatchability and chick quality. Poultry Science, 89, 1225-1238.
- Robertson I. (1961a). Studies on the effect of humidity on the hatchability of hen's eggs. I. The determination of optimum humidity for incubation. The Journal of Agricultural Science, 57, 185-194.
- Robertson I. (1961b). The influence of turning on the hatchability of hens' eggs. I. The effect of rate of turning on hatchability. Journal of Agricultural Science of Cambridge, 57, 49-56.
- Romijn C. et Lokhorst W. (1960). Fœtal heat production in the fowl. Journal of Physiology, 150, 239-249.
- Sauter E.A. et Petersen C.F. (1974). The effect of egg shell quality on penetration by various *Salmonellae*. Journal of Poultry Science, 53, 2159-2162.
- Sauveur B. (1988). Reproduction des volailles et production d'œufs. INRA. Station de recherches avicoles. Centre de Tours-Nouzilly, 37380 Monnaie. 449 p.
- Thornton G. (2011). Managing the hatch window. Watt Poultry USA, March, 20-22.
- Tona K., Bamelis F., Coucke W., Bruggeman V. et Decuypere E. (2001a). Relationship between broiler breeder's age and egg weight loss and embryonic mortality during incubation in large-scale conditions. Journal of Applied Poultry Research, 10, 221-227.
- Tona K., Decuypere E. et Coucke W. (2001). Effects of strain, hen age and transferring eggs from turning to stationary trays after 15 to 18 days of incubation. British Poultry Science, 42, 5: 663-667.

## ➔ RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- Tona K., Onagbesan O., De Ketelaere B., Decuypere E. et Bruggeman V. (2003). Effects of turning duration during incubation on corticosterone and thyroid hormone levels, gas pressures in air cell, chick quality and juvenile growth. *Poultry Science*, 82, 1974-1979.
- Tona K., Onagbesan O., De Ketelare B., Decuypere E. et Bruggeman V. (2004). Effects of age of broiler breeders and egg storage on egg quality, hatchability, chick quality, chick weight, and chick post-hatch growth to forty-two days. *Journal of Applied Poultry Research*, 13, 10-18.
- Tona K., Onagbesan O., Bruggeman V., Mertens K. et Decuypere E. (2005). Effects of turning duration during incubation on embryo growth, utilization of albumen, and stress regulation. *Poultry Science*, 84, 315-320.
- Van de Ven L. (2003). Storage of hatching eggs in the production process. *International Hatchery Practice*. 18 : 8, 27-31.
- Walsh T., Rizk R.E. et Brake J. (1995) Effects of temperature and carbon dioxide on albumen characteristics, weight loss and early embryo mortality of long stored hatching eggs. *Poultry Science*, 74, 1403-1410.
- Wilson H.R. (1991). Physiological requirements of the developing embryo: temperature and turning. In: *Avian Incubation*. Tullet S.G. editions, 145-156.
- Wilson H.R. (2004). Hatchability problem analysis. University of Florida. IFAS extension. 13 pp.
- Wineland M.J., Christensen V.L., Fairchild B.D. et Yildirim I. (2001). Effect of temperature and oxygen upon embryos during the plateau stage. *Avian and Poultry Biology Reviews*, 12, 4: 169-202.
- Yalçın S., Molayoğlu H.B., Baka M., Genin O. et Pines M. (2007). Effect of temperature during the incubation period on tibial growth plate chondrocyte differentiation and the incidence of tibial dyschondroplasia. *Poultry Science*, 86, 1772-1783.
- Yassin H., Velthuis A.G.J., Boerjan M., van Riel J. Et Huirne R.B.M. (2008). Field study on broiler eggs hatchability. *Poultry Science*, 87, 2408-2417.



# Hubbard

YOUR CHOICE, OUR COMMITMENT



## AMERIQUES

HUBBARD LLC

195 Main Street - B.P. 415 - Walpole NH 03608 - ETATS-UNIS

TEL. +1-603.756.3311 - FAX +1-603.756.9034

[contact.americas@hubbardbreeders.com](mailto:contact.americas@hubbardbreeders.com)

## E.M.O.A./Brésil

HUBBARD S.A.S.

Le Fœil - B.P. 169 - 22800 Quintin - FRANCE

TEL. +33-(0)2.96.79.63.70 - FAX +33-(0)2.96.74.04.71

[contact.emea@hubbardbreeders.com](mailto:contact.emea@hubbardbreeders.com)

## ASIE

HUBBARD S.A.S.

Le Fœil - B.P. 169 - 22800 Quintin - FRANCE

TEL. +33-(0)2.96.79.63.70 - FAX +33-(0)2.96.74.04.71

[contact.asia@hubbardbreeders.com](mailto:contact.asia@hubbardbreeders.com)

[www.hubbardbreeders.com](http://www.hubbardbreeders.com)